

Title	大型加速器による大規模物理学実験のナレッジマネジメントーPHENIXグループの事例研究ー
Author(s)	足立, 枝実子
Citation	
Issue Date	2016-12
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	http://hdl.handle.net/10119/14048
Rights	
Description	Supervisor:伊藤 泰信, 知識科学研究科, 博士

博 士 論 文

大型加速器による大規模物理学実験のナレッジマネジメント —PHENIX グループの事例研究—

足立 枝実子

主指導教員 伊藤 泰信

北陸先端科学技術大学院大学
知識科学研究科

平成 28 年 12 月

目 次

第1章 序論	1
1.1 研究の背景	1
1.2 研究の目的とリサーチ・クエスチョン	5
1.3 研究の方法	6
1.4 研究の意義	9
1.5 論文の構成	11
第2章 文献レビュー	13
2.1 はじめに	13
2.2 科学社会学	13
2.2.1 科学と科学的知識	15
2.2.2 科学者になるためのトレーニング	16
2.2.3 見えない大学	17
2.2.4 科学者同士のコミュニケーション	18
2.2.5 科学者を取り巻く競争	19
2.2.6 ラボラトリー＝スタディーズ	22
2.2.7 実験と実験家	24
2.3 科学者の業績	25
2.3.1 科学的論文における引用	25
2.3.2 科学的論文における著者	26
2.3.3 科学者にとっての報奨	28
2.3.4 科学者の階層	29
2.4 大規模国際科学プロジェクト	30
2.4.1 ビッグ・サイエンスの組織的特徴	34
2.4.2 高エネルギー物理実験の特徴	35
2.5 知の創造プロセスとしての科学	38

2.5.1	知識とは何か	38
2.5.2	知識創造理論	41
2.5.3	ナレッジマネジメント	41
2.6	組織における権限とコミュニケーション	44
2.7	コンフリクトマネジメント	45
2.8	おわりに	46
第3章	事例分析	48
3.1	はじめに	48
3.2	ブルックヘブン国立研究所 (BNL)	49
3.3	理化学研究所と理研 BNL 研究センター	55
3.4	大型加速器 RHIC の建設経緯と歴史	58
3.5	PHENIX グループを取り巻く競争	64
3.5.1	加速器間の競争	66
3.5.2	PHENIX と STAR の競争	67
3.5.3	PHENIX グループ内での競争	68
3.6	PHENIX グループの研究目的	71
3.7	PHENIX グループの運営組織体制	72
3.7.1	PHENIX グループの組織	73
3.7.2	組織としてのグループの特徴と分業化	77
3.8	PHENIX グループにおける知の創造	78
3.8.1	検出器製作・アップグレード	80
3.8.2	検出器の運転・各検出器からのデータ収集	82
3.8.3	実験データキャリブレーション・プロダクションジョブ	84
3.8.4	データ解析	85
3.8.5	予備的承認会議	87
3.8.6	学会発表	88
3.8.7	論文執筆	89
3.8.8	論文のレビュー／論文内部審査	91
3.8.9	論文発表最終決定	92
3.9	報奨の仕組み	93

3.9.1	業績リストについて	95
3.9.2	推薦状について	95
3.9.3	国際学会での発表者について	96
3.10	論文生産の小事例	98
3.10.1	PHENIX グループの代表的論文を生産した事例	98
3.10.2	ある若手ポスドクが論文を生産した事例	103
3.11	発表論文の科学計量学的分析	106
3.11.1	調査方法	107
3.11.2	分析の準備	107
3.11.3	自己引用分析	108
3.12	著者分析	114
3.13	科学者のトレーニングを行う場としての PHENIX グループ	117
3.14	知の創造プロセスの分析結果	120
3.14.1	役割分担	120
3.14.2	知の創造プロセス	122
3.14.3	モチベーションとインセンティブ	132
3.15	おわりに	132
第4章	結論	139
4.1	はじめに	139
4.2	発見事項のまとめ	139
4.2.1	SRQ1 の答え	139
4.2.2	SRQ2 の答え	140
4.2.3	SRQ3 の答え	141
4.2.4	MRQ の答え	142
4.3	理論的含意	144
4.4	実務的含意	146
4.5	将来研究への示唆	148
参 考 文 献		149
付録		160
付録 1.	PHENIX グループが設定している公式メーリングリスト	160

付録 2. RHIC 運営に関して設定されている公式メーリングリスト	161
付録 3. PHENIX グループ参加機関.....	162
付録 4. PHENIX グループ発表論文一覧	164
付録 5. PHENIX グループ自己引用一覧	168
謝辞	172

図 目 次

図 1-1	MAXQDA による分析プロセスの一例	8
図 2-1	研究成果のコミュニケーションと計画	16
図 2-2	知のピラミッド	40
図 2-3	知識創造理論	41
図 3-1	BNL 組織図.....	53
図 3-2	加速器部門の組織図	54
図 3-3	BNL 物理部門の組織図.....	55
図 3-4	理研組織図	56
図 3-5	理研 BNL 研究センターの組織図	58
図 3-6	RHIC 全容.....	59
図 3-7	物理学における PHENIX グループの位置づけ	63
図 3-8	PHENIX 全容.....	64
図 3-9	PHENIX グループにおける価値相関図.....	65
図 3-10	PHENIX グループの組織詳細図.....	73
図 3-11	論文生産プロセス	80
図 3-12	PHENIX グループ内の論文執筆チームの生成.....	90
図 3-13	PHENIX グループ内の組織.....	92
図 3-14	86 番論文のスケジュール.....	102
図 3-15	86 番論文の執筆体制.....	102
図 3-16	5 番・25 番論文のスケジュール	105
図 3-17	5 番論文の執筆体制.....	105
図 3-18	25 番論文の執筆体制.....	106
図 3-19	論文投稿数の推移	107
図 3-20	論文投稿数の種類別遷移	108

図 3-21	PHENIX グループ論文の自己引用ネットワーク.....	111
図 3-22	86 番と 87 番の論文に注目した自己引用ネットワーク.....	113
図 3-23	PHENIX グループ論文の著者数推移.....	115
図 3-24	PHENIX グループ論文の著者本数分布.....	116
図 3-25	PHENIX グループメンバーの学生による博士論文数.....	118
図 3-26	PHENIX グループメンバーの学生による修士論文数.....	118
図 3-27	PHENIX グループ内の役割分担.....	122
図 3-28	知の創造プロセスにおける知の創造・共有・活用の具体例	126
図 3-29	他分野との知の創造プロセスの比較	129
図 3-30	大規模加速器実験における「協調」モードと「競争」モード	131
図 3-31	PHENIX グループの個人と組織の関係.....	135
図 4-1	大規模加速器実験における知のプロセス	146

表 目 次

表 1-1	2003 年度日本におけるビッグ・サイエンス事業一覧	4
表 2-1	科学活動の 6 つの水準	14
表 2-2	知の三分類	39
表 3-1	インタビュー対象者一覧	48
表 3-2	RHIC 建設に関する年表	61
表 3-3	PHENIX グループと STAR グループの体制比較	75
表 3-4	PHENIX グループ構成メンバー推移	77
表 3-5	PHENIX グループの知の創造プロセス	123
表 3-6	PHENIX グループの知の創造プロセスにおける競争と協調の具体例 ..	129

第1章 序論

1.1 研究の背景

自然科学の研究は、競争と協調が共存する場における知識創造活動である。マートン(1961)によれば「科学上の一番乗り争いは独創性を制度上強調するところから生まれ、そこで、競争的な協働が生まれ、競争の産物は公有化され、尊敬はその生産者に払われる(マートン, 1961, p. 509)」とある。また、ザイマン(2006)は、「協力と友情という言葉とは裏腹に、科学が非常に競争的であり、論争を好む(ザイマン, 2006, p. 30)」と指摘している。

科学は競争によって発展してきた。クーン(1971)は、「科学者は常に競争状態にある(1971, p. 200)」と述べているし、村上(2001)は、「これまでに他人が生産することのなかったものであるサムシング・ニューが唯一の評価基準である以上、他人に先駆けて、サムシング・ニューに到達しようとする「競争」が生まれるのは当然である(2001, p. 17)」と主張している。このように、これまでの科学社会学的研究において、科学研究における競争的な性格はたびたび指摘されてきた。プライス(1970)は、「科学の社会的機構とは、二人の科学者を一人よりも、良く働かせるための組織で、リサーチ・フロントの本質は、国際的な規模での競争的な共同研究であり、参加者は全て、はめ絵パズルにおいて、次の同じ小片をどこにはめこむかを競争している(1970, p. 170)」と表現している。

他方で、自然科学の研究は、協調に基づく知識創造活動とも言える。人文・社会科学系も含めた数値ではあるが、論文の著者数のみに着目すると、共同で執筆する論文が年々増加する一方、単著の論文は年々減少し続けており、1992年には23.1%あったが、2011年になると11.6%にまで減少している。著者数が多い論文の状況を見てみると、たとえば21人から30人で執筆する共著論文は、1992年には0.06%であったが、2012年には0.26%と増加する¹。その活動に従事する科学者の多様性が科学の進展に重要であり(Maskus, Mobarak & Stuen, 2013)、多国籍の著者から出された科学論文は引用数も多いとされている(Katz &

¹ Thomson Reuters の Web of Science®を基に、JST J-GLOBAL foresight にて情報事業が集計。
<http://foresight.jst.go.jp/dataranking/collaboration/authors/>, 2015年5月31日アクセス。

Hicks, 1997)。実際引用回数の多い影響力の強い研究は、昨今国際的な共同研究で行われており、特に国際的な共同研究が増加すると、1論文あたりの被引用回数も増加する傾向にある²。

2015年5月14日にPhysical Review Letters誌に掲載された論文“Combined Measurement of the Higgs Boson Mass in pp Collisions at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV with the ATLAS and CMS Experiments”の著者数が5,154人334研究室で、これまでの論文著者数の記録を打ち破るものであるとNature誌オンライン版が報じた³。この論文では15ページ目から24ページ目までがATLASグループの著者が原則アルファベット順に、32ページ目から39ページ目までがCMSグループの著者が原則国と姓名のアルファベット順に掲載され、著者毎の貢献度は明示されていない。この論文を発表したのは、欧州原子核研究機構 CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire)⁴で行われている加速器 LHC (Large Hadron Collider) の ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS) 実験と CMS 実験 (Compact Muon Solenoid) である。ATLAS 実験は38カ国、174の研究機関からの約3,000人（うち大学院生は約1,000人）の素粒子実験物理学者が共同研究に参加している⁵。一方、CMS 実験は42か国184の機関から約3,500人が参加している⁶。どちらの実験も競争と協調のバランスを取りつつ、一つの目標に向かって研究を進めている自然科学の大規模な国際共同研究の代表例と言えるだろう⁷。

CERN と競い合ってビッグ・サイエンスを牽引してきたアメリカにおける大規模な国際共同研究の事例を見てみよう。ブルックヘブン国立研究所 (Brookhaven National Laboratory、以降BNLと略す) は、原子力の平和的利用に関する研究を目的として、アメリカ NY 州アプトン基地の跡地を利用して1947年に設立さ

² Thomson Reuters の Web of Science® を基に、JST J-GLOBAL foresight にて情報事業が集計。
<http://foresight.jst.go.jp/dataranking/collaboration/citation/>, 2015年5月31日アクセス。

³ <http://www.nature.com/news/physics-paper-sets-record-with-more-than-5-000-authors-1.17567>, 2015年5月30日アクセス。黒木, 2016, p.157。

⁴ CERN はヨーロッパにおいて世界的なレベルの基礎物理学の研究機関を目指して、1954年に設立された。ジュネーブ近郊のフランスとスイスに跨って敷地を構えている。CERN にてイギリス人研究者 Tim Berners-Lee が、1989年に World Wide Web (WWW) を発明したことでも知られている。CERN は、科学の国際化の例としてはずば抜けている (ザイマン, 1995)。

⁵ LHC ATLAS 実験 <http://www.atlas.ch/fact-sheets-1-view.html>, 2015年5月30日アクセス。

⁶ LHC CMS 実験 <http://cms.web.cern.ch/content/cms-collaboration>, 2015年5月30日アクセス。

⁷ LHC 加速器と実験装置は、14年をかけて約5,000億円で建設された。
<http://atlas.kek.jp/sub/OHP/2008/20080909LHCpressOutline.pdf>, 2015年6月4日アクセス。

れ、ビッグ・サイエンスの隆盛と共に発展してきた。ジョン・P・ブリューエットが、BNL コスモトロン部門の 1950 年 6 月 9 日付部内報告で、加速器の指数成長を、歴史上はじめて指摘した（プライス, 1970）ことからでも、BNL がビッグ・サイエンスの老舗であることが明らかである。BNL は加速器の大型化に伴って、大規模な国際共同研究のホストとしての役割を担うようになってきた⁸。

物理学以外の分野においてはヒトゲノムプロジェクトが生物のビッグ・サイエンスのプロトタイプと言えるが、ファンドが占有され、研究者個人の研究がサポートされない恐れがあった。また、特定の仮説によって動くのではない、科学の価値が限定されたプロジェクトであり、科学の基礎的な問いに答えたものではなく、純粋科学というより応用プロジェクトであったという評価がある（Esparza & Yamada, 2007）。また、生命科学分野で著者が一番多い研究は、2004 年に日本から発表された高コレステロール症患者の治療研究で、たくさんの患者を対象にした臨床研究の参加医師 2,459 名が著者である（黒木, 2016, p. 157）が、臨床研究を全国で別々に行ったものであり、一カ所に集中して予算が投下される物理学のビッグ・サイエンスとは種類が異なる。

日本におけるビッグ・サイエンスの状況も見てみよう。文部科学省において、2003 年にビッグ・サイエンスとスモール・サイエンスの状況を科学技術・学術審議会ですとまとめている（表 1-1 参照）が、その際に、素粒子物理学以外では大型望遠鏡や科学衛星が取り上げられた。平成 15 年度予算額 1 位は大強度陽子加速器計画の推進 136 億円、3 位に B ファクトリー計画の推進 86 億円が計上されていることから、加速器実験がビッグ・サイエンスの中でも特に規模が大きいと考えて間違いがないだろう。

現在では例えば、茨城県東海村の加速器施設「J-PARC」と岐阜県飛騨市の観測施設「スーパーカミオカンデ」で行っている実験は、高エネルギー加速器研究機構など 11 カ国 61 機関の国際研究チームで行われている⁹。

⁸ ブルックヘブン国立研究所ホームページ <http://www.bnl.gov/world/>, 2015 年 6 月 4 日アクセス。

⁹ 毎日新聞 2016 年 8 月 7 日 大阪朝刊
<http://mainichi.jp/articles/20160807/ddn/001/040/002000c>, 2016 年 8 月 7 日アクセス。

表 1-1 2003 年度日本におけるビッグ・サイエンス事業一覧

事項名	予算 (億円)
大学共同利用機関等における独創的・先端的研究	
ニュートリノ研究の推進 (東大・宇宙線研)	23.0
B ファクトリー計画の推進 (高エネ機構)	86.0
大型光学赤外線望遠鏡「すばる」計画の推進 (天文台)	34.0
大型ミリ波サブミリ波干渉計に関する研究開発の推進 (天文台)	6.0
スーパーSINET の整備等 (情報研)	68.0
加速器計画の推進 (高エネ機構)	61.0
大型ヘリカル装置を用いた研究の推進 (核融合研)	56.0
第 21 号科学衛星「ASTRO-F」 (宇宙研)	51.0
第 22 号科学衛星「SOLAR-B」	19.0
第 23 号科学衛星「ASTRO-E2」	30.0
大強度陽子加速器計画の推進 (原研・高エネ機構)	136.0
月周回衛星「SELENE」 (NASDA・宇宙研)	33.0
RI ビームファクトリー計画の推進 (理研)	52.3
JT-60 (原研)	28.5
高温工学試験研究 (原研)	25.7
Spring-8 (理研・原研等)	112.4
重粒子線がん治療臨床試験 (HIMAC) (放医研)	49.7
合計 871.6	

出典：科学技術・学術審議会 総会（第 11 回）平成 15 年 7 月 24 日開催資料¹⁰

このように多数の研究者が参画し、巨額の投資を受けて研究を進めているビッグ・サイエンスであるが、研究者が数百人自発的に参加する実験グループ・

¹⁰ 科学技術・学術審議会 総会（第 11 回）平成 15 年 7 月 24 日開催資料。
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu0/shiryo/attach/1332060.htm,
2015 年 5 月 30 日アクセス。

組織をまとめ、これまで研究成果を創出してきたことに、民間企業にはない独自のナレッジマネジメントが行われていると考える。また、その知の創造について、詳細に追って記述・説明し、理論的モデルを構築した先行研究は見当たらない。さらに、アルファベット順に著者を掲載するという特異なルールを持つ大型加速器を用いる大規模物理学実験分野で、大人数の研究者によっていかに知が創造されているかについての研究が存在しない。ビッグ・サイエンスの老舗である BNL で行われている大規模加速器実験を分析することで、大規模加速器実験における知の創造の理論的モデル構築を目指す。

1.2 研究の目的とリサーチ・クエスチョン

本論文は、ビッグ・サイエンスの典型例である大型加速器を使う大規模物理学実験の研究組織 PHENIX (Pioneering High Energy Nuclear Interaction eXperiment)¹¹グループにおいて、日々繰り返される知の創造プロセスについて、事例研究によって現場の実態を把握・分析し、大型加速器を用いた大規模物理学実験における知の創造の実態を明らかにする。その結果を受けて、ビッグ・サイエンスにおけるナレッジマネジメントの理論的モデルを構築することと共に、実務的な問題について解決案の提言を行うことを目的とする。本論文で扱う大規模加速器実験における知の創造とは、実験する過程のノウハウの蓄積や研究の進め方などの暗黙知・知恵なども活用して、形式知である研究論文を生産すると共に、暗黙知も生産すること、と定義する。

これまで述べてきた背景や現状を把握した上で、組織経営の専門家ではない様々な領域の専門分野が異なる物理学者が世界各地から集まって形成されている組織が、どのように知の創造を行うために活動しているのか特に注目して、以下のメジャー・リサーチ・クエスチョン MRQ と 3 つのサブシディアリー・リサーチ・クエスチョン SRQ を設定する。

¹¹ グループ名の PHENIX は、Pioneering High Energy Nuclear Interaction eXperiment (原子核相互作用実験における光子、ハドロン及び電子) の略名であり、「不死鳥」のフェニックスの語呂合わせである。なお、PHENIX は実験・装置・グループを示す言葉として、メンバーの研究者は使用している。検出器総工費は、約 100 億円である。そのうち、アメリカが 60-70 億円、日本が約 28 億円負担した。<http://www.phenix.bnl.gov/WWW/publish/akiba/PR/PRbook.ppt>, 2015 年 6 月 4 日アクセス。

MRQ：多様なメンバーから成る PHENIX グループでは、いかに知を創造・共有・活用しているのか？

SRQ1：PHENIX グループは、組織としていかにマネージされているのか？

SRQ2：PHENIX グループは、いかに論文を生産しているのか？

SRQ3：PHENIX グループのメンバーはどのようなインセンティブに影響を受けて、モチベーションを維持しながら研究活動を行っているのか？

1.3 研究の方法

本論文は、自然科学に関する研究現場で、多国籍・多様な専門分野を持つ多数の研究者をマネージしながら、優れた研究成果・論文を創出している組織的な特徴や要件を明らかにするために、「組織的知識創造¹²⁾」に着目した。組織的知識とは、特定の組織の行動力を決定する、その組織に埋め込まれた固有の暗黙的・形式的な知識・能力・ルールを意味する。したがって、ある研究組織が持つ組織的知識とは、研究現場においてその研究組織の研究遂行力を決定する、研究組織独自の暗黙的・形式的な知識・能力やルールであると考えられる。個々の研究組織独自の備える知識・能力・文化・環境によって行われる「組織的知識創造」、研究論文の生産プロセスを具体的に分析するための研究方法として、単一の事例を対象とする事例研究を採用した。

本論文では、研究対象として大型加速器による大規模物理学実験に取り組んでいる研究グループを選び、大規模物理学実験における研究活動の実態を組織的知識創造の視点から把握する試みを実施した。この調査の中で、個人やグループ単位での競争と協調のバランスをいかに取るかという問題が浮かび上がってきた。具体的には、BNL¹³⁾にある衝突型加速器 RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider)¹⁴⁾を使って高エネルギー物理実験を行っている PHENIX グループを事

¹²⁾ 野中・竹内, 1996。

¹³⁾ 筆者は理化学研究所の職員であり、BNL に設置されている理研 BNL 研究センターの事務主査として、2008 年 4 月から 2011 年 5 月まで派遣された。

¹⁴⁾ RHIC は 1991 年に建設を開始し、1999 年に完成、2000 年に実験が開始された。
<http://legacy.kek.jp/ja/news/press/2003/image/j-usbn101.pdf>, 2015 年 6 月 4 日アクセス。

例として取り上げる。

これまで採られてきた質的研究の方法論は、マクロな視点からの組織文化／歴史研究と、比較的ミクロな視点からのラボラトリー研究の二つに、大きく分けることができる。組織文化／歴史研究は大きな流れは把握できるものの、個別単位の分析は詳細に取り扱うことが難しい。他方、ラボラトリー研究は個別事象を深く掘り下げて分析するものの、全体像の把握が困難である。このように、これら二つのレベルの視点からの研究には利点と弱点があるため、双方の視点からの方法論を相互補完的に用いて全体像と個別事象を統合することに努め、研究組織がもつ組織的知識をより実態的に把握することを目指す。

本論文では、前節で示した、組織的知の創造をめぐるいくつかの問いに対する解答を導くために、PHENIX グループの組織的知の創造の特徴、その成り立ちと運営のプロセスをまず正しく把握した上で、PHENIX グループにおいて 1 本の論文を執筆するプロセス、検出器運転をはじめとする協働の実態、組織の中に蓄積される経験や知の本質、組織的学習展開のあり方、また組織の成員による組織運営への思い／価値観の共有のされ方、シニア研究者・中堅研究者・若手研究者の果たす役割の違い、グループ内部コンフリクトなどに焦点を当てた、質的研究の方法論を活用しての分析を行った。

事例分析においては、解釈の妥当性をできる限り確保するために、多くの関係者に対してインタビューの実施（表 3-1 参照）、参与観察¹⁵、入手できる多種類の一次資料、二次資料や歴史的な資料、必要に応じて PHENIX グループの内部資料などのデータを統合して、データの整合性を取った。観察データ、インタビュー・データ、文書データの質的データのデータ・トライアングレーションにより可能な限り事実検証に務め、コーディングと理論的モデルの構築に質的データ分析ソフト MAXQDA¹⁶を用いた（図 1-1 参照）。SRQs に従って、(1)組織運営、(2)論文生産プロセス、(3)場と構成員とモチベーションの三点の視点から、分析を行った。まず収集したインタビュー・データを MAXQDA に取り込み、時系列に並べ、どんな手続きがあるか、何が起きているのか、どのような知が創造・共有・活用されているのかについて、コーディングを行った。その後、

¹⁵ 事務主査の業務を遂行中は、本研究を念頭に置いていなかったが、結果として参与観察になった。

¹⁶ MAXQDA については、<http://www.maxqda.com/>を参照。2015 年 6 月 4 日アクセス。

コードをグルーピングによって階層化し、大規模加速器実験の知の創造プロセスを把握し分析した。

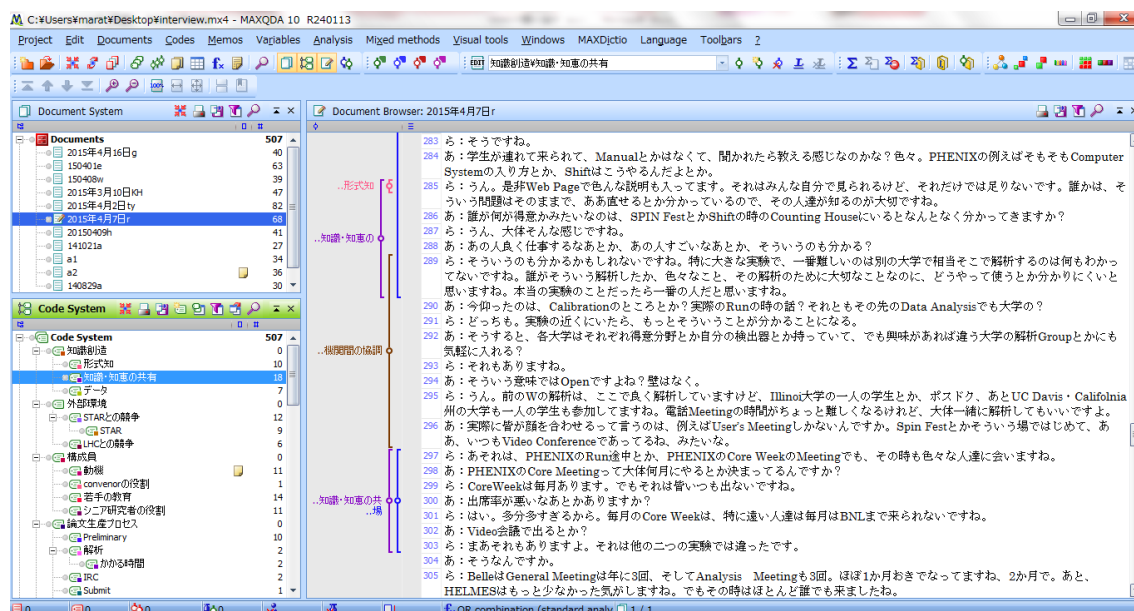


図 1-1 MAXQDA による分析プロセスの一例

具体的にはまず、科学者と科学者集団の特徴、大規模国際科学プロジェクト、知識、ナレッジマネジメントなどの代表的な先行研究にあたった。次に、研究組織を歴史的な観点から把握し、組織の成り立ちから現在までについて文書とインタビューから読み取り、そこで実践された研究活動を描き出した。並行して、PHENIX グループ内外の活動・講演会・イベント等に参加し、公式・非公式に渡って、業務にも関わる非公開の議論から雑談までを含む多様なレベルの対話、研究現場の参与観察、直接対面の半構造的インタビュー、電子メールによるインタビューを行い、現在研究組織の中で実際に行われている研究活動を具体的に把握した。これらの先行研究分析と現状調査を受けて、インタビューや現状分析によって得られた数種のデータから、知識の生まれるプロセスについて分析した。その後、論文生産に関する二つの小事例について詳細なインタビューやドキュメント分析を行った。このように、インタビューとドキュメント分析結果を基に、単独の事例を対象としたモデル構築型の事例研究を行った。

1.4 研究の意義

自然科学の研究現場で何が起こっているのか、自由を好む研究者が組織をどのようにマネジメントしているのか、特に数百人規模の実験グループでどのように研究成果を生み出しているのか、一般社会からは見えないが特有の組織なり仕組みがあることが予想される。

本研究の研究対象である自然科学研究現場に対して、ナレッジマネジメントの視点で研究を行う難しさの一つの要因として、研究グループの内部に深く入り込んで、研究グループとのラポールを確立した上での社会学的な調査が必要なのが挙げられる。福島(2013)は、「従来のいわゆるラボラトリー研究の中で、ラボ内でのチェック機構について論じたものは皆無に等しい(2013, p. 72)」と述べているが、ラボラトリー＝スタディーズ分野の流れの中で、ナレッジマネジメントの切り口をもたらすことで、自然科学の研究グループの「組織的知識創造」の実態を明らかにできると期待する。

PHENIX グループは、2000 年の加速器 RHIC 稼動開始後から、金原子核などの重い原子核同士を、光速に近い速度まで加速して衝突させることで、この宇宙初期の高温・高密度状態を再現する実験を行っている。研究組織のマネジメントの評価指標の一つには、「質の高い論文を生み出しているか」があるが¹⁷、15 か国から集まる 500 人以上の研究者、技術者から構成される¹⁸PHENIX グループでは 2000 年以降 2014 年 11 月現在に至るまで 140 本の論文を発表している。論文被引用数では、上位 50 位のうち、4 位をはじめとする、11 本の PHENIX 論文がランクインしている¹⁹。

また、PHENIX グループの副代表が、原子物理学とその応用に関し優れた研究業績をあげた研究者を表彰する仁科記念賞を、2011 年に受賞した際の理由が、

¹⁷ 隅藏(2013)は、「ラボラトリー・マネジメントが成功しているかどうかの評価指標の一つは、そのラボラトリーにおいて知の生産性が高いかどうかである。質の高い論文を生み出しているか、質の高い特許を生み出しているか、研究コミュニティにおいて重要な研究基盤となる研究手法やマテリアルやデータベースを構築し広く提供しているか、研究成果に基づく製品・サービスによって社会に貢献しているか、といったことが問われる」と述べている。

¹⁸ http://www.phenix.bnl.gov/PHENIX_Inst.html, 2015 年 6 月 4 日アクセス。

¹⁹ 2014 年末時点の実験核物理領域論文被引用数一覧によると、PHENIX グループの論文は 4 位、11 位、15 位、20 位、22 位、26 位、31 位、32 位、43 位、45 位、50 位にランクづけられている。
http://inspirehep.net/info/hep/stats/topcites/2014/eprints/to_nucl-ex_alltime.html, 2015 年 6 月 4 日アクセス。

「RHICにおいてPHENIX実験グループがもたらした成果は質、量ともに抜きんで目覚ましく、Physical Review Letters誌に10年間で50編以上の論文を発表している。特に、このグループで日本人研究者が果たした役割は非常に大きい²⁰」とあることから、原子物理学の分野においてPHENIXグループの組織運営が成功していると言えるであろう。

自然科学系の大型研究プロジェクトに焦点を当てた社会科学的な研究がほとんど存在しない理由として、自然科学者の日々の活動が社会学者など外部の目に触れる機会が少ないのはもちろんのこと、規模が大きい上研究のライフサイクルが長すぎて研究プロジェクトの全体像が捉えにくいことが考えられ、結果として研究対象になる可能性が少ないと推測される。したがって、研究支援者に位置付けられる筆者が研究者の実情を明らかにするために、自組織において長期間研究プロジェクトに関わりつつ、ケース・スタディを適用することは有効であると考えられる。

また暗黙知は、特定の作業を行うという文脈において顕在化する以上、当事者が具体的に作業している現場に居合わせて観察しなければならないが²¹、事務主査として筆者が当事者であるPHENIXグループの研究者たちが暗黙知を駆使している状況に業務上立ち合い、結果として後から振り返ると一種の参与観察をしていた²²ことは、当事者が気づかない暗黙知やグループの文化をナレッジマネジメント研究に取り込む上で非常に重要であると考えられる。

これまで述べてきたような背景の下で、筆者がBNLに設置されPHENIXグループに関わっていた理研BNL研究センターの事務主査という立場で経験した研究現場の手触りや感覚を最大限利用して、データのアクセスの容易さ、PHENIXグループメンバーと長時間かけて築き上げてきたラポール（信頼関係）に基づき、PHENIXグループを研究対象に選んだ。自然科学の大型研究プロジェクトの組織

²⁰ 2011年度 仁科記念賞 受賞者一覧

http://www.nishina-mf.or.jp/prize/2011_prize_release.pdf, 2014年8月10日アクセス。

²¹ 福島(2001, p. 50)は、「暗黙知は、特定の作業を行うという文脈において顕在化する以上、当事者が具体的に作業している現場に居合わせなければならず、しかも当事者はまさに作業をしている最中だから、いちいちそれを中断して質問するわけにはいかないという問題も起こる」と述べている。

²² 理研BNL研究センターの事務主査として、PHENIXグループの実験現場に足を運び、グループメンバーが研究をしている様子を日常的に目にしていたが、博士論文のテーマを当時まだ決めかねていたこともあり、狭義のラボラトリー＝スタディーズが意味するところのフィールドワークをしたわけではない。

経営について、ナレッジマネジメントの視点で行われた研究はほとんどなされていないため、本研究は学術的に意義がある。経営の専門家が存在しない自然科学の研究グループにおいて、現場の知識の創造・共有・活用・蓄積プロセスを分析する本研究は、実務的にも重要なことである。大型実験グループに所属する物理学者が研究グループをまとめていく方法を分析し、改善案を提示することは、今後の自然科学の研究マネジメントにも大きな知見をもたらすものと考えられる。

(1) 自然科学分野の研究グループにおけるナレッジマネジメント

大規模加速器実験の研究現場で行われる具体的なプロセスを一つ一つ追い、異なる立場の研究者に対してインタビューを行い、率直な意見を集めた上で、関係する資料の分析も含めて、論文が生産される過程を組織的知識創造の側面から研究したものはなく、科学社会学において新しいアプローチである。また、ビッグ・サイエンスの主流に位置づけられる BNL において研究活動を展開している大規模物理学実験の PHENIX グループが実施していることに関して、ナレッジマネジメントの枠組みで理解することは、有益である。

(2) ラボラトリー＝スタディーズの現状

文化人類学者が長期間に渡り外部者としてラボに滞在し、研究活動を観察している研究や、科学のトレーニングを専門的に受けた者によるラボラトリー＝スタディーズは、既にいくつか存在する。その中には、大規模物理学実験の事例も含まれる。しかしながら、事務担当者が、当事者と深く関わりながら関係者との信頼関係を構築した上での参与観察とインタビューを実施した本研究は、外部者だけでは把握しきれない仕組み・背景や人間関係を十分認識した上で分析を行うことができる点がメリットであり、非常に意義深いと言えよう。

1.5 論文の構成

本研究の構成は、本章を含む全 4 章で構成される。

第 2 章では、本研究に関連する先行研究についての文献レビューを行う。まず、本研究の中心課題に対して、関連分野の研究を踏まえて、科学社会学の動

向、科学者を取り巻く競争、科学者にとっての報償、ラボラトリー＝スタディーズの潮流、大規模国際科学プロジェクト／ビッグ・サイエンス、高エネルギー物理実験の特徴、科学者の階層、そもそも知識とは何か、知識創造理論、ナレッジマネジメントについて、科学社会学的、知識科学的視座から整理する。

第3章は、本研究の事例の背景となるBNL・RHIC・PHENIXグループそれぞれの歴史を含めた紹介をした後、PHENIXグループの知の創造の現場でどのようなことが起こっているか、研究プロセスを詳細に追って描き出す。特に、PHENIXグループの代表的論文と若手ポストドク²³が議長としてまとめた論文について事例分析を行う。また、第2章と併せて本研究における知のプロセスを導出する。

第4章では、本研究で得られた研究成果のまとめを行い、それに基づいて大規模加速器物理学実験グループの知の創造に関する理論的モデルを提示し、理論的含意・実践的含意について論じる。最後に、本研究で残された課題、将来研究への示唆について述べる。

²³ ポストドクトラルフェロー・博士研究員の略称。

第2章 文献レビュー

2.1 はじめに

本章では、まず科学者と科学的知識、科学者を取り巻く状況、実験家の特徴等について、科学社会学で議論されてきた内容をまとめる。次に、科学者の研究成果である科学的論文の意味について、引用や著者の位置づけに焦点を当て、文献をまとめる。さらに、本研究で取り上げる大規模国際科学プロジェクトとビッグ・サイエンス、高エネルギー物理学に関する先行研究をレビューする。最後に、知識・知的資産、ナレッジマネジメント、組織マネジメントに関する文献をレビューする。これにより、本研究の理論的、学術的な位置づけを明確にし、課題を明らかにする。

2.2 科学社会学

本節では、科学社会学が現在までどのように展開されてきたのか、レビューを行う。

一般に、科学とは「知ることの方法アート」を意味していると考えられている（ザイマン，1981）が、議論の前提として科学と科学者をめぐる社会学的な潮流を整理したい。1970年代まで、科学的知識の発展に関する問いは、主に科学哲学の分野において議論されており、それ自体が大きな研究領域を形作っている。科学哲学における主要課題は、知識の妥当性（正統化の文脈）に関するものであり、どのように科学的知識が生産されるかを問うことに主眼を置いた科学社会学とは立ち位置が異なっている（ライデスドルフ，2001）。

その中で、科学哲学者であったプライス(1970)は、科学的知識の発展と論文数との関係に着目して分析を行い、一方クーン(1971)は、科学哲学に歴史的視点も取り入れつつ、科学的知識の発展とパラダイム内で働く研究者グループとの関係に焦点を当てた。

科学社会学の創始者の一人とされるマートン(1961)は、科学者共同体の規範を研究し、普遍主義(Universalism)、公有性(Communalism)、利害の超越(Disinterestedness)、系統的な懐疑主義(Organized Skepticism)が科学を特

徴づけているとした。これらは略して、「CUDOS」と呼ばれている。しかしながら、科学知識の内容に社会学的分析を行うことはせず、科学知識自体はブラックボックスとして扱い、科学者共同体の規範と行動様式の分析に焦点を当てた議論を展開した。

クーン(1971)が展開したパラダイム理論は、科学者の社会学がブラックボックスとしてとらえた科学知識の生産過程を分析し、科学者集団特有の知識の認知的側面を理解しようと努めたものである。そのパラダイムは時代と共に変化するため、自然科学の知識も社会に影響を受けるという相対主義的な立場(都城, 1998)のブルアをはじめとする科学知識社会学(SSK、Sociology of Scientific Knowledge)を生み出した。SSKは、科学知識の内容も対象とし、理論の真偽にまで社会的影響が入り込むことを主張した(中島, 2006)。

ザイマン(2006)は、マートン(1961)のCUDOSを一つ一つ検証し、科学者集団の特性としてPLACEを提案している。科学者集団とは「所有的(Proprietary)」「局所的(Local)」「権威主義的(Authoritarian)」「請負的(Commissioned)」「専門的な仕事(Expert work)」に対して報奨を与える特殊な集団であり、CUDOS型エートスは不適當である、という主張である。

このような科学社会学の潮流において、さまざまな方法論が開発されてきた。たとえば文化人類学の方法論を応用して科学者の研究室での日々の行動を「ありのまま」に観察して記述していく人類学的手法(ラトゥール, 1999)や、プライス(1970)が始めた分析手法を拡張し、論文数、引用数等の統計的分析を通じた定量的な分析、すなわち科学計量学(サイエントメトリクス)の手法(ライデスドルフ, 2001)などがある。

松本(2016)は、科学活動の6つの水準を解釈と鍵概念の関係で、科学社会学で議論されている内容を表2-1のようにまとめた。

表 2-1 科学活動の6つの水準

解釈	鍵概念
科学者(技術者)	個人
科学者(技術者)の行動	行為
科学者(技術者)のネットワーク	関係
科学者集団(技術者集団)	集団

科学制度（技術制度）	制度
社会システム	全体社会

出典：松本(2016)， p. 36.

2.2.1 科学と科学的知識

科学は系統だった観察、慎重な実験、合理的な理論を通じての知識生産であり、その生産物である科学的知識には観測、データ、概念、図表、理論など様々な形式があり、科学的知識の品質を、ピアレビュー、レフリー制度、追試・再現性確認といった形で担保してきた（ザイマン，1981；ザイマン，2006；ギボンズ，1997；福島，2013；藤垣，2003）。また科学的知識は、専門家仲間あるいは科学者共同体の内部のみで知識が生産され、流通し、蓄積され、消費される（村上，2001）。科学そのものが一つの制度と言うことができ、成文化された規則や法的な身分、社長や経営計画などはないが、個人、及び組織の確固たる信頼関係に依存する社会秩序と独自のルールが存在している。（ザイマン，2006）。

科学者は、個人が報奨を目指す個人主義的な文化の中で、実験的測定、観察データ、理論的計算、思弁的仮説、器具使用のテクニック、批判的調査、古い観察の再解釈などを報告する書物や論文を発表することで知識に「貢献」をする（ザイマン，1995）。また、個人のリーダーシップと自由裁量に大きく依存し、個人間の相互支援のネットワークによって支えられていて、新たなメンバーは、徒弟制や個人的な関係によって受け入れられるが、周りの変化に順応しつつ、科学者共同体の非公式な共通理解によって行動する（ザイマン，2006）。

科学的知識が生産されるプロセスについても、研究が行われている。バーンズ(1989)は、科学者社会にある標準化した手続きによって行われる研究が、学界全体の知識として構築されるプロセスは、コミュニケーションと品質管理を促進する制度、そして相対主義の文脈の中で行われていることを主張し、科学的知識が絶え間ないサイクルによって生産されている状況を明示した（図 2-1 参照）。しかしながら、科学的知識の内容に深く踏み、具体的に科学的知識が生産される状況を描き出す社会学的研究は、ラボラトリー＝スタディーズに譲っている（福島，2010）。

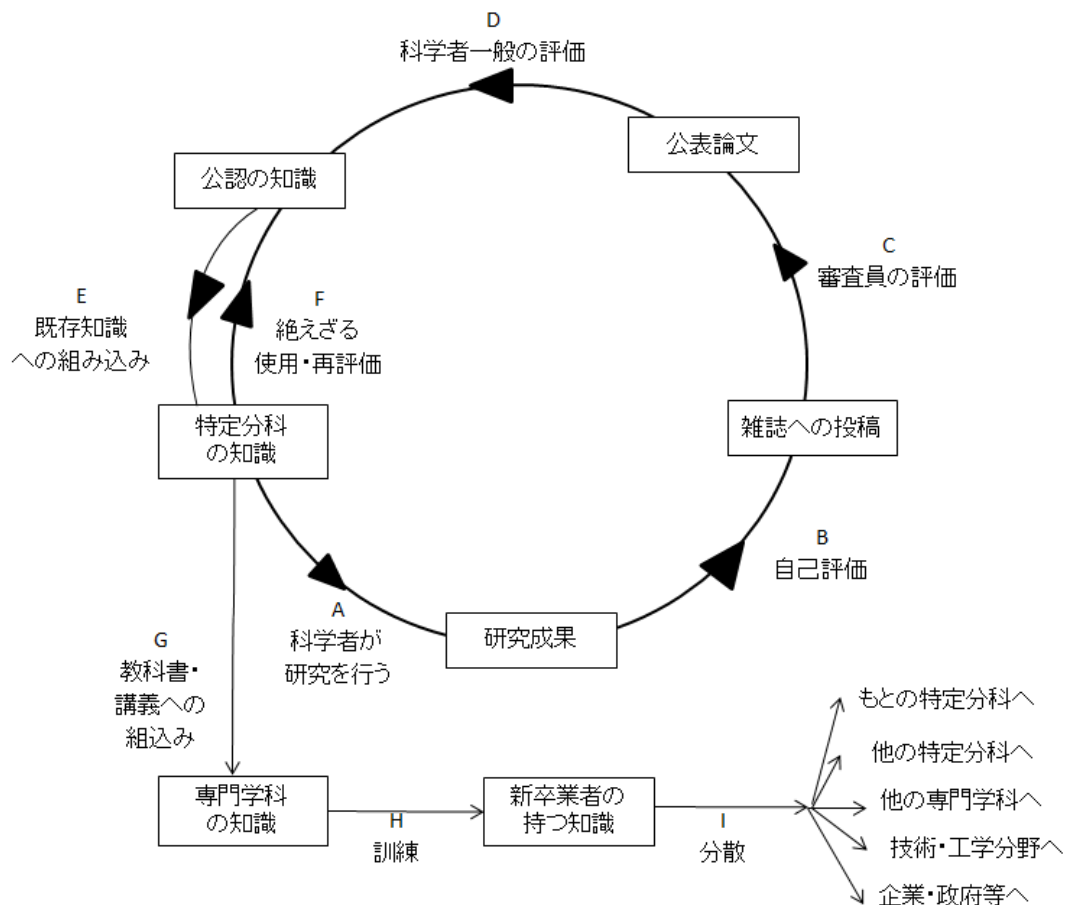


図 2-1 研究成果のコミュニケーションと計画

出典：バーンズ (1989), p. 57.

2.2.2 科学者になるためのトレーニング

既存の知識を学び、専門分野の暗黙の了解やセッティングを踏まえた上で、新たな知識を生み出すのが、科学者の仕事と言える（村上，1994）。よって、一人前の科学者になるには、知識の体系に加えて、実際の研究に必要な手法・手続き・ルールを勉強し習得することが求められる。科学者は「妥当性」の基準や標準、適切な研究方法、結果や結論を発表する際のフォーマット等の伝統を、パラダイム内の熟達した研究者の指導の下での徒弟期間で身につけ、簡単な哲学的議論では正当化できない方法でその伝統の間で生活することを学ぶ（ザイマン，1988；バーンズ，1989；チャルマーズ，2013）。また、多くの研究はチームワークを通じて遂行されるので、学生は自らの管理を越えた目的を有した社会的機構の信頼できる歯車の一部として行動することを習得しなければなら

ない（ザイマン，1995）。学生や若手ポスドクは、自らが属する専門分野の形式知・暗黙知を身につけることが、一人前の科学者になるための必要条件である。

2.2.3 見えない大学

研究者は大学時代から科学者の行動規範を身につけるべく、研究室で科学者になるためのトレーニングを受ける。その結果、所属組織とは別に、自分の研究分野における「見えない大学（Invisible College）」に属することになる。1640年代に、はじめはオクスフォードで、のちにはロンドンで定期的に会合をもち、のちにロイヤル・ソサエティを創立した科学の先駆者達の、非公式グループ、私的交流をロバート・ボイルが大学（college）とよんだことが、「見えない大学」の定説になっている。プライス（1970）は、このことばの歴史的意味を踏まえて、現代の科学の諸分野におけるパイオニアたちの、非公式の専門グループを、「見えない大学」と呼び、研究領域を先導していくグループの存在を比喩的に表現するために用いた（倉田，1999）。

職能集団としての科学者には、俸給を得る勤務機関と、専門知識の交換の場であり、論文発表の場でもある専門学会の両方に所属している二重性が存在する。前者での採用や昇任人事の根拠となる業績評価は、後者での発表論文の量と質に大きく依存しているので、科学者の忠誠心はしばしば俸給を得ている勤務機関ではなく、研究者として社会的認知を受ける場である自分の専門学会・「見えない大学」に向けられることさえある（井山・金森，2000）。また、科学の研究を進めるために、資金力があり有能な大きなグループを動員して「見えない大学」を強化することで、その影響を受けて制度機関が発達し、専門職が生まれ発達し、様々な職位が作られる（ラトゥール，2007）。

「見えない大学」は、文献、引用、社会的相互作用のネットワークで強く結ばれている（ザイマン，1988）。プライス（1970）は、ブルックヘブンのような場所は、大型機械や他の設備を利用するところから、いくつかの「見えない大学」の巡回路の一つのステーション・鍵となる機関として、ますます重要な役割を果たすようになってきており、人々は他の人々と一緒に仕事をするためにやってくるので、ますます人を惹きつけるようになると述べており、高エネルギー物理学者にとって BNL が「見えない大学」の重要な拠点であることを主張していた。

ザイマン(2006)は個人の認知と相互のコミュニケーションをの両方を、科学のモデルの主要部分と考える。科学が成長し、ゆっくり変化するの、無意味とはいえないまでも独創性の小さい無数の妥当な研究を積み重ね、選択的に吸収していくことによる。文献、引用、社会的相互作用のネットワークで結ばれた「見えない大学」における研究の積み重ねは、科学の進歩にとって効果的な手段である(ザイマン, 1988)。時代が経つにしたがって「見えない大学」は、共著として公式の形を取り、より組織化され(Esparza & Yamada, 2007)、存在が明確になってきた。

2.2.4 科学者同士のコミュニケーション

科学者はコミュニケーションと品質管理を促進する制度(インスティテューション)を持つ(バーンズ, 1989)。そのうち科学者同士のコミュニケーションは、公式なコミュニケーションと非公式なコミュニケーションに分類できる。公式なコミュニケーションは学術雑誌掲載後のコミュニケーションであり、公的な知識形成へ向かうゆっくりとしたプロセスである。論文という形式知を媒介にして、論文の著者と同一分野の研究者とのコミュニケーションが発生する。非公式なコミュニケーションとは、雑誌に掲載される前のコミュニケーションすべてを指し、最新情報を交換する私的なコミュニケーションという特徴を持ち(倉田, 1999)、噂や会議、セミナーやプリプリントや、「見えない大学」のその他の接触によって得られる(プライス, 1970)。Garvey (1967)らは、学術雑誌に掲載される論文の内容は、科学者同士の個人的対話などの非公式コミュニケーションや各種会議、学会などで既に発表されているものであるとし(倉田, 1999)、研究に関する情報の80%は、公式なコミュニケーション以前の段階で他の研究者から非公式コミュニケーションによって得られるので(プライス, 1970)、今日では論文から論文へではなくて、人から人へとコミュニケーションする傾向がある(ライデスドルフ, 2001)。また、科学に関する日常的な絶え間ない非公式な討論はインターネットにあふれ、インターネットが知識の構築のための大きなサイトになりつつある(ザイマン, 2006)状況も無視できない。

科学者は科学のネットワークの中で、個々のノードとしてきわめて適切に行動している。科学者は日々、研究装置、研究仲間、学術文献、生活世界、そして過去の経験から情報を得て、これらの異質な材料を厳選し、組み合わせ、ま

まったく新しく組み立て直すと共に自ら新しい科学的知識を生産し、公式・非公式なコミュニケーションを通じて別の研究者に伝達する(ザイマン, 2006)。これらのコミュニケーションを通じて、属する科学の分野において個々の研究者のクレジット・評価が形成される。

一般に、支配的地位にある人々は両面交通のコミュニケーションの結び目・連結点にあり、その結果、集団内の他の地位を占める人々よりも情報が集まる上、規範や行動をよく知っているような構造的配置になっている(マートン, 1961)。ある分野の主導的な研究者には、暗黙知・形式知が集中すると言えるだろう。

2.2.5 科学者を取り巻く競争

科学者は、研究成果をめぐって同じ分野の仲間と競争し、論文を発表し、ポジションや評価・認知・研究資金等の報酬を獲得するので、科学者は常に競争の渦中にいる。

科学において競争的な協働が生まれ、競争の産物である科学的知識の方は公有化され、尊敬の方は生産者に払われる(マートン, 1961)。科学には「協力」と「競争」の両面があり、科学者は「良い科学」の仕事をするという意味を知らなければならないだけでなく、科学の「仲間」の中での自分の位置を知り、どのように仲間と共に仕事をするかを知った上で研究を進めることが必要である(ザイマン, 2006)。

科学の制度が揺籃期にある頃、分野がまだ成熟していない時期では、研究者は自分たちの知識体を築くのに専念しており、その段階で生産される知識はどれも「サムシング・ニュー」であり、「競争」というよりは「共働」の側面が強かったが、いったんある程度堅固な知識体が成立し分野が成熟してくると、そこには強く「評価」が働くようになり、研究者は自分の同僚が共働者であると同時に、競争者であることをより意識し(村上, 2001)、「競争」と「協調」のバランスが変わる。福島(2013, p. 75)は、「実験装置が素粒子物理学のような国際共同利用の巨大装置でなく、個別のラボで開発競争がなされる分野ではさらに、その装置の善し悪しが個別のラボの研究競争の勝敗を決めるのは日常茶飯事である」と述べているが、科学が進展するにつれて、科学者を取り巻く競争において予算確保が大きな位置を占めるようになり(藤垣, 2003)、富者はま

すますます富み、貧者はますます貧する(フラー, 2000)様相を呈するようになった。ラボを中心とした研究の動きは、ラボが所属する分野の同業者集団による評価によってその価値が決まるという特徴があり、同業集団を膨らませながら先陣争いをするという特性がある(福島, 2009b)。集団間競争では、各メンバーは集団内の他メンバーにフリーライド(ただ乗り)しやすい状況にあるという問題も抱えている(松尾, 2003)。

科学者はテニユアの職を手に入れるために、自然を相手に、あるいは互いに戦うとも言える(ザイマン, 2006)。欧米(特にアメリカ)の科学者は研究成果を引っさげて競争に参加し、評価を受けて助成金という形でさらに資源を手に入れ、それを再び研究に投資するという方法で自らのキャリアを築いていく(コールマン, 2002)。細分化した職業人としての科学者は、業績競争という科学の社会機構の中で研究を進めており、優秀な知識生産者と言える(吉川, 2002)。自然科学の研究機関とは異なり、製品・研究開発部門やシリコンバレーの研究開発型企業の場合、淘汰圧力を強めることで極度の緊張状態を作り出し、その中で優れた成果を上げたメンバーのみを評価し、報酬を与えるタイプの「淘汰型の内部競争」が適している可能性があり、評価基準として財務業績等のアウトプットを強調し、配分する報酬に大きな差をつけることが有効かもしれないと、松尾(2003)は指摘している。特に若手科学者の場合、テニユアの職を得て科学者として生き残れるかどうかという緊張状態の下で競争している。

科学者個人間の競争だけではなく、科学者の集団間の競争も存在する。これまでの集団研究によると、対抗が見られる「競争(Competition)」と一緒に働いて利益を得る「協調(Cooperation)」という2つの状況は、集団内プロセスの基本タイプで、2つのプロセスが混在しているのが通常の状態であり、集団内では集団の構成・他者の行動・コミュニケーションが、集団外では作業と報奨システムが競争と協調の決定要因となる(Jewell & Reitz, 1981)。したがって、集団のプロセスを研究する際には、集団内に存在する競争と協調のバランスを考える必要がある(松尾, 2003)。科学において、常に協力と競争の間の一種の緊張が存在するのである(ザイマン, 1995)。

企業の場合、競争優位は自身が属するグループに依存し、別のグループに移れば競争優位も変化するので、提携を結ぶ際に、重要な戦略的な選択を行っている(ギボンズ, 1997)。これは、科学者にとっても同じである。良い成果が出

せそうなグループに加入することを望み、チャンスがあればより良いグループへと移っていく。隅藏(2013)は、「ラボラトリー・マネジメントが成功しているかどうかの評価指標の一つは、そのラボラトリーにおいて知の生産性が高いかどうかであり、質の高い論文を生み出しているか、質の高い特許を生み出しているか、研究コミュニティにおいて重要な研究基盤となる研究手法やマテリアルやデータベースを構築し広く提供しているか、研究成果に基づく製品・サービスによって社会に貢献しているか、といったことが問われる」と述べているが、知の生産性が高い研究室に科学者も所属することを望み、研究室のレベルの高さに良い刺激を受け、自らも良い成果を生み出すことを目指す。

他方、研究機関の側から言えば、研究者の移動は、その機関がほかの研究グループとの競争を制して新たな人材を獲得する能力を反映する。研究機関は自身の関心分野に貢献してくれる完成度の高い研究者を採用して、さらにパワーアップした研究チームを作ろうとする（コールマン，2002）。

ペルツ & アンドリュース(1971)は、アメリカの大学・民間・政府系研究所の科学者を対象に質問紙調査を行い、集団内外での競争の状況を分析した。「認知された個人間の競争は、集団年齢の増加につれて低下する。ただもっとも古い集団で再び高まる。認知された集団間の競争は初めに上昇し、その後は落下する。年齢 4-5 年の集団は内部よりも外部との競争を強く感じている」と個人間の競争と集団間の競争の関係性を報告した。また、若い集団と類似して友好的で暖かい雰囲気を経験する一種の知的競争状態へと導いている古い集団は、業績を維持していると述べた。

物理学は、他の自然科学分野に比べて、成熟した学問であり、ノーベル物理学賞を受賞したファイマン（2007，p. 30）は、以下のように競争よりも協調の比重が大きい物理学者の特徴を述べている。「物理学の畠では、あんまり観察の集大成が大きすぎて、以前誰も考えたことのないような新しいアイディアで、しかもいままでの膨大な観察と矛盾しないようなものを思いつくなど、まず不可能に近いでしょう。だから、どこの誰であれ、新しいアイディアを出してくれば、これはもう大歓迎で、なぜそいつがそうだと言うのかなど、目を三角にしてとやかく言う者はいないのです。もっとも他の科学分野には、まだそこまで発展していないものも多く、したがってその現状は昔の物理学さながら、観察も少ないから論争もかましい」。

2.2.6 ラボラトリー＝スタディーズ

科学社会学において、文化人類学の方法論を応用して科学者の日々の行動を「ありのまま」に観察して記述していく、それ自身の生活を持っている実験活動（ハッキング、2015）・ラボラトリーを直接研究したいいわゆるラボラトリー＝スタディーズは、1970年代後半のラトゥールによる、カリフォルニアにあるソーク研究所のバイオ系ラボの調査などであるとされる。しかし、福島（2010）は精神医療関係の実験室においては、それ以前にも現場研究は行われており、実験室の民族誌的研究の先駆けになったと指摘している。Knorr-Cetina(1999)は、分子生物学の研究室と高エネルギー物理学の研究室を対象にラボラトリー＝スタディーズを行い、両者の差異を明確に議論した。

Traweek(1992)は、主にスタンフォード大学と高エネルギー加速器研究機構に長期間滞在し、素粒子物理学実験を中心としたアメリカと日本の文化的ラボラトリー＝スタディーズを行った。上野(2008)と福島（2009, 2011）らは理化学研究所でケミカルバイオロジーを推進している抗生物質研究室について、歴史的な系譜に注目してリサーチ・パスの概念を打ち出した。また、伊藤（2009b, c）は、所属する大学院のバイオ系の研究室の系譜に注目し、研究室から独立して新たな研究室を立ち上げる「のれん分け」の特徴を描き出した。

具体的な内容として、例えば福島（2013, p. 72）は化学系研究室を調査した。研究室のスタッフ全体が参加するプロGRESS・リポートにより、進捗状況を主任およびスタッフ全員で討議されること、また個別の研究員と主任の面談に関しては、ラボノートの厳格な管理が要求されていることを報告しており、研究室での研究を、実験的、理論的な試行錯誤を繰り返すことで、彼らが所属する研究者集団の中で公認されるような知識を確立するための一連の行為の連鎖であると表現している。特定の実験領域での試行錯誤→ある特定の結果の発見→複数の実験によるその再現性の確認→研究室内での討議→論文の投稿→編集部とのやりとり→修正と採用→業界内での追試、反論、論争→複数の論文間での議論→学会内での多数派による賛同、といった平均的プロセスを経て、生み出されたばかりの不安定な知識が段々と安定した知識に確定していく過程を明示した（福島, 2009a）。

これらの研究は、科学とは距離の遠い文化人類学者が外部者として研究室を

訪問し、長期間滞在して民族誌的に科学者を観察したものである。他方、科学のトレーニングを専門的に受けた者によるラボラトリー＝スタディーズとしては、科学史に近い立場で大型加速器の成り立ちや組織運営の特徴を分析している平田（2015）や、高エネルギー加速器研究機構に滞在し、加速器研究者が研究現場の知識を習得していく様子を観察した吉岡（2006）などの研究がある。ただし、実験グループ内のルールや論文生産プロセスを追ったものは、存在しない。

ラボラトリー＝スタディーズに取り組む際の注意事項について、岡田（1999, p. 7）が以下の通りまとめている。

共同研究を行っている研究者へのインタビューや質問紙調査では、研究者が自分たちの共同研究をどうとらえているかを調べるためには適しており、統計的処理のための大量データも得やすい。しかし、本人の自己報告による認知過程と実際の認知過程の間にはずれのあることが多いため、発見の過程のような意識化の難しい認知活動をとらえるためには、信頼性という点で問題が残される。共同研究の現場での参与観察は、まさに今起こっている共同研究のありさまを自分の目でとらえることができるという大きな利点があるが、それだけに時間的にも経済的にも、観察者側の労力が大きく、少数のケースを取るだけで手いっぱいになってしまう。また、現在行われている研究はまだ歴史的な評価が定まっていないため、あまり重要でない研究や失敗した研究のデータのみを収集してしまう恐れもある。

認知心理学の立場から科学者の行動を分析した Dunbar (1995) は、科学者が議論をしながら科学的成果を出す過程についてデータを集める方法として、科学者自身の証言を引き出すインタビュー手法、歴史的なデータを分析する手法、参与観察の手法の 3 つを挙げている。Dunbar が採用した参与観察は、科学者がまさに今行っていることをオンラインでデータとして記録できる可能性があり、したがってミクロな認知過程のデータとして信頼性が高い、という利点がある。この方法は他方、長期間に渡って一つの研究室で集中的に観察を行うことは非常な困難を伴う、という実行上の難点を抱えている。インタビュー・データは一種の回顧プロトコルなので、客観性の不足等データの信頼性の面で問題があ

るのも事実であり（植田，1999）、複数インタビューを実施することや文書分析等、データの信頼性を確保する努力が必要となる。

2.2.7 実験と実験家

科学は「理論と実験」という二つの目的を持つと言われ、理論は世界がどのようなものであるか表現することを試み、実験とその後に従うテクノロジーは世界を変える（ハッキング，2015）が、実験はある種の経験的な知識を得るために計画された観測行動である（ザイマン，2006）。科学実験は、その実験の根拠となる理論があつてこそ合理的に実施できるということと同様に、科学理論は、その理論の根拠となる実験（あるいは別の体系的な経験による研究）があつてこそ合理的に主張できる（ザイマン，2006）ため、理論と実験は相互に深く結びついている。

実験の場合、利用できる装置の有無が個々の科学者の研究計画を左右する（ザイマン，1998）。実験は高度にルーティン化された行動で、個人的な独創性や可変性の余地はほとんどないという印象を与えるが、実験は技能的熟練や微妙な判定・直観的理解を必要とする实际的行動であり、特定の研究者たちは研究所の仕事についての「手練」または「勘」をもっている（ギルバート & マルケイ，1990）。実験家は実験結果を論文にまとめて発表するが、装置や設備の使用法やデータ取得方法、データや知識を組み上げていく際に必要なセッティングなど、その専門家集団に固有で共通の暗黙の了解と、それに基づく蓄積とが前提にあるため（村上，1994）、知識への貢献がその発信者から完全に切り離されることは決してないので（ザイマン，2006）、そういった暗黙知、ある研究室での「実験の実施」に必要な特殊な技術が、簡単に他の研究室に伝えられることはない（ザイマン，2006）。通常科学で用いられる知識の多くは、マイケル・ポラニーが展開した意味で暗黙のものである（チャルマーズ，2013）。つまり、熟練者の「暗黙知」を「形式知」にすることだけでは知識の共有が可能になっているわけではなく、研究室の技術や知識は、様々な文書に加えて、装置、道具、人による実演、生物材料をつまんだ時の感覚といったものの資源を全て把握しないことには意味をなさないと上野・ソーヤー（2009）は報告している。よって、日々の実践の点では、ある者の装置や発見を用いようとしても、典型的な科学論文には含まれていない背景的な情報を得るために当該者と接触しなければ、

それを用いて実験することはほとんど不可能である（フラー，2000）。つまり、実験のプロセスには、膨大な暗黙知が存在しており、その一部は教科書から学習するが、大部分は試行錯誤や経験ある先輩との交流から学び（チャルマーズ，2013）、研究を遂行することになる。

実験室は、自らが知りたいと思う対象に対して、実験室外では想像が難しいような大量の資材（近年の素粒子研究における加速器の規模）、それに費やす時間、労働力その他、膨大な試行錯誤をすることが一応社会的に許容されているような空間である（福島，2010）。その実験室に所属する熟達した実験家は、知識や技術に関して、多くの資源からなる実践共同体の一部を構成しているにすぎない（上野・ソーヤー，2009）。実験室という制約のもとに、実験が行われるのである。

2.3 科学者の業績

本節では、科学者の業績である科学的論文の意味づけなどに関する先行研究をレビューする。

2.3.1 科学的論文における引用

論文数の分析等いわゆる科学計量学の創始者はプライス(1970)と言われており、「科学の科学 (Science of Science)」のための方法論として確立された（藤垣・永田，2000）。現在の科学計量学において、著者及び著者群と文書及び文書群の2つが主要分析単位であり、これらを元に、著者、制度、コミュニティなどの間の比較をすることができ、また社会ネットワークのさまざまな技術的方法を用いてその基盤となる構造を分析することができる。引用関係などの指標から、生産性、階層、グループやエリートの構造といった典型的な社会学的問題に関して推論を展開することができる（ライデスドルフ，2001）。たとえば、相互に頻繁に引用し合う一群の著者のネットワークを探し出し、所属機関を超えた「見えざる大学」を主導している研究者集団の同定を行うことができる（井山・金森，2000）。また、引用分析により科学論文のネットワークを考察することで、リサーチ・フロントが明らかにできる（プライス，1970）。

そもそも科学者は、先人の知見を尊重し、同じ実験をもう一度繰り返す無駄

を避けて、その文献を引用するだけでその知的遺産を享受して良いというルールを守りつつ（窪田，1996）、先行研究群との「差異」を強調して論文を書く（藤垣，1999）。また、引用対象の内容を参照し、引用主体の主張が正しいことを示すために引用は行われる（ザイマン，1981）。科学論文には、他人の実験、計算、観測、理論などからの「引用」、「参考文献」が必ず多数含まれており、激しい競争があるにもかかわらず、高度に「協力的」なものの証としている（ザイマン，1981）。学問や研究に携わる者がこの引用行動を適切にマスターすることは、学会や研究者社会の中で生き続けるために必須であり、いわば「村の掟」・「見えない大学」の所属員の常識である。この掟の背後には、科学は基本的にこれまでの知識の蓄積の上に成り立っているという事実とその認識がある（窪田，1996）。

2.3.2 科学的論文における著者

科学的論文は、科学者の知識創造活動の究極的な形式知と言える。論文の著者は、当該論文の知識創造活動に携わった人物である。自然科学の研究では一般に、一論文あたりの執筆者数の平均が増加しているだけでなく、論文一本あたりの執筆者の専門分野およびディシプリンの多様性が増大し、さらに執筆者たちの所属機関や組織の幅も広がり、所属組織の地理的分布も広がり続けている（ギボンズ，1997）といった指摘がある。多数の著者による科学論文は、その主な著者たちの間での非公式の批判的な意見交換によって磨き上げられたものだが、熱心な、教義主義的ともいえる擁護は、冷静で合理的な分析と同様に、やはり科学の基本である（ザイマン，2006）。

共著の背景には、集団的研究体制の成立があり科学論文の第一の特徴と言えるが、著者順位も計算に入れた応分のポイントで評価されるので、科学論文はある意味でそれ自体が計量されうる形態で書かれており（井山・金森 2000）、共著が最も一般的な科学協力の指標である（Roderik，2009）。分野による慣例の違いはあるものの、自然科学の多くの分野では、共同研究で執筆された論文について最も貢献度が大きい人物が筆頭著者になる（Osborne & Holland，2009）。業績がインパクトファクター等の指標で客観的に測られている現在（北仲，2012）、筆頭著者になることが昇進や外部資金獲得に繋がる最も影響のある証拠となる。アカデミズム科学者は金銭による報酬よりも同業の科学者による認知

や業績リストが直接の関心ごとで、同業者集団による評価によって研究の価値が決まり、誰が論文の著者に入るか、誰が筆頭著者になるか、著者の掲載順はどうかを、非常に注意深く決めるということが指摘されている(バーンズ, 1989; 藤垣, 2003; 福島, 2009b)。共同研究が増加する中、著者の掲載順は研究者にとってますます重要な関心ごとになっていると言える。例えば分子生物学では、論文著者の順序と役割が明確で、共同研究を進める上でのインセンティブになっており(Knorr-Cetina, 1999)、クレジット(同業者集団の中での評価)を高めるサイクルが重要である(Latour & Woolgar, 1979)。その具体的な目標は、高名なジャーナルに論文が掲載されることだが、その評価は基本的に個人中心である。この個人中心主義は、バイオ系では未だに重要な価値を持つ

(Knorr-Cetina, 1999) ので、筆頭著者をめぐって人間関係がこじれることがある(黒木, 2016)。医薬系では、著者数が増えているが数百人で書いた論文は非常に珍しく、データ収集はしないバイオ統計学者や論文内容を把握していない研究者も著者に含まれる状況を改善すべきであるという主張もある

(Biagioli, 1999)。

他方、素粒子物理学では、国際的な共同実験を行うため、著者数が時に三桁になり、名前はアルファベット順になって、筆頭著者という概念が消えている。つまり評価の個人中心主義は、大規模な共同研究が普通となった素粒子物理学等では崩れつつある。バイオ系と比較すると責任著者の所在が分からないように思えるが、素粒子物理学や数学のような理論的な分野では、すべての著者が同等に貢献し、全員が責任と権利を共有していると基本的に考える(黒木, 2016, p. 154)。大規模な共同研究における個人の貢献度は、国際プロジェクトへの参加の履歴で測られる(Knorr-Cetina, 1999)とされている。実際本論文で取り上げる PHENIX グループの論文に掲載される著者は、アルファベット順で、かつ数百人にのぼり、全員が平等に扱われていて貢献度は外部からは分からない。

共著の実態をさらに深く見てみると、バイオ系の研究室では、他のメンバーから依頼される試料の解析という下請け作業が発生するので、その作業結果が一応共同研究として扱われ、連名の著者名の真ん中あたりに名前が連なる。しかし下請け作業ばかり行っていると、研究員としての「クレジット」が向上しなくなり、結果として仕事の内容がテクニシャン的業務に近くなり(福島, 2011)、筆頭著者になることを目指した研究が滞ることになる。このような分業が発生

するのは、実験物理学でも同様である。中岡(1971)は、たとえばCERNなどの巨大研究所やビッグ・サイエンスにおいて、「知的労働の組織」における主労働と補助労働の関係が存在していると述べた。

2.3.3 科学者にとっての報奨

自然科学の場合、ある研究の価値が同じ分野の研究者に認められることが、褒賞の基本的なあり方であり、科学研究の成果の公刊に、たとえそれから直接的な金銭的褒賞が期待できなくとも、科学者は一番乗りをして発見者の栄誉を得たいと強く望む(マートン, 1983)。つまり科学者は、他の専門職業人同様、金銭による報酬よりも名誉による報酬が直接の関心ごとだと思われ(バーンズ, 1989)、自分たちの発見に対する個人的な「認知」や有形無形の他の報酬を得ようとするため、一番乗りで結果を発表するよう誘導される。(ザイマン, 1995)。研究という行為には、本来「褒賞」はないが、あるとすれば「自己満足感」を除けば、「仲間の認知」である(村上, 2001)。

科学者の業績は主に、専門誌に印刷され、公刊されることによって評価されるため、ジャーナル共同体は、科学者の日々の活動にとって大事な単位となる。Latour & Woolgar(1979)がその人類学的な参与観察を行った単位である「実験室」は確かに科学者にとって大事な集団単位である。しかし、先行研究との差異は、実験室での議論をもとに専門誌に公刊された論文において、科学的知識は専門分野における正統性を確保され(藤垣, 2003)、公認の知識(バーンズ, 1989)になるのである。

以上のように、科学者にとって論文発表が最も重要で、科学的知識は「正式には」書かれて伝達されるが、話すことを通して広まっていくので、会議は国際的な科学の社会を個人的な友情と相互の理解という絆で結ぶことによって知識の伝達に重要な機能を果たしており、論文発表と同様に学会発表も重視される(ザイマン, 1981)。さらに、研究者たちは一刻を争って成果を発表しようとするから、多くの場合、速報性の観点から会議の場を利用しようとする(窪田, 1996)。特に、高エネルギー物理学の分野では、真に科学的に意味のある会合というのは、その分野で活動するすべての研究者たちが一堂に会して自らの研究に関する非公式の情報を交換し合うような定期的な国際会議である(ザイマン, 1995)。

2.3.4 科学者の階層

自然科学の研究は、大学院生、博士研究員、若手研究者、主任研究者、シニア研究者から成る階層的な人員配置で進められている(ザイマン, 2006)。なお、日本で講座制を維持している大学等では職階制が教授に有利に働き、講座メンバー全員の論文に教授の名前を載せることは、教授が実際の研究に関与したか否かにかかわらず、なかば慣例化している(コールマン, 2002)。ザイマン(1988, p. 95)は、科学者の階層について以下のように表現している。

原理的には、全科学者は同格で、平等に論文発表と批判の媒体を使うことができる。現実には、きびしい等級づけを持った評価の階層構造があり、指導的権威、すなわちもっとも重要な発見をしたといわれる人たちが、強い影響力のあるエリートを形作っている。例えば学会のような、科学会の正規の制度を牛耳るのは彼らであり、彼らは、科学知識の種々雑多の分野をカバーする多くの非公式の見えない大学の長でもある。

指導的な地位にいる科学者は、科学者間のコミュニケーションにおいてゲートキーパーとしての役割を果たしている(倉田, 1999)。たとえば、一流機関が褒賞機構、資源配分、社会的な選抜機構といった科学者の研究・待遇条件に差をつけることを通じて、科学の階層構造とでもいうべきものを作り出し、維持している(マートン, 1983)ことも指摘されている。

科学者の生産性に階層が存在するだけでなく、科学を作り出す手段においても階層が存在する。論争を推進し研究成果の先陣争いに勝っていくには、自陣の側で駆使することが可能なリソースに決定的に依存している。こうしたリソースは極めて限られた科学者に集中していて(ラトゥール, 1999)、「科学者が技術的装置から「引き離されて」、新しい型の科学労働者が出来上がりつつある。物理学者は通常自分のサイクロトロンを所有していないのであって、研究に従事するには、実験施設を備えたビューロクラシーに雇われざるを得ない」(マートン, 1961, p. 181)という状況に科学者は置かれている。

若い科学者たちが年長の科学者に経済的に依存しなければならない今日、若い科学者は年長の助手や共同研究者になる(プライス, 1970)。多くの物理学

者の究極のゴールは、階層のトップ、共同研究全体の代表者になり、数百人の物理学者が集まったチームを動かすこと（トーブス，1988）であり、物理学者は自分の希望する実験を遂行できる地位、階層の頂点を目指す。

2.4 大規模国際科学プロジェクト

「ビッグ・サイエンス」という言葉を初めて使ったのはプライス（1970）であるが、ビッグ・サイエンスについて、加速器の研究所がブルックヘブンのように大きくなるのは必然的であったと述べている。マンハッタン計画は原子核物理に関する一大国家プロジェクトで、戦後のビッグ・サイエンスの原型となった（中島，2006）。戦後の物理学者の多くは、重さが何百トンもあって何百万ドルもする巨大な粒子加速器を求めて、ビッグ・サイエンスの典型を作り上げ（ウィリアムズ，1992）、冷戦下のアメリカにおいて巨額の資金が科学研究分野に投下され、ビッグ・サイエンスが発展した（中島，2008）。本研究で取り上げる大型加速器 RHIC が設置されている BNL は、第 1 章で述べたように加速器の共用施設として巨大科学の進展とともに歩んできた、いわばビッグ・サイエンスの老舗である。

この加速器が大規模化した流れとは別に、インターネットや交通機関が発達した現在、国際共同研究は増える一方である。分野や距離の離れた所よりも、組織的・地域的に近い場所で共同研究が行われる傾向はあるものの（Allen et al., 2007）、社会的に分散した知識生産は、地球規模のウェブに向かう傾向にある。ウェブにおける相互接続は、知識生産の新しい拠点の出現によって持続的に拡大を続けているので、モード 2 をはじめ今日の科学研究では、コミュニケーションが決定的に重要である（ギボンズ，1997）。高エネルギー素粒子物理学で明確になっている通り、財源の集約化と集中化に対する圧力を生み出し、その結果国家の枠組みを超えて、国際化が必然となる領域が生まれている（ザイマン，1995）。Roderik（2009）は、自然科学の国際共同研究が盛んになってきた理由を、以下の 9 点にまとめている。

- ① 研究に必要な予算が著しく増加
- ② 科学の分野が細分化し、分野毎の専門性が向上

- ③ 装置や道具の複雑化
- ④ 交通費の急激な低下
- ⑤ 英語の共通言語化
- ⑥ インターネットや他の通信手段の発達
- ⑦ 自国の共同研究しかない論文よりも外国組織と協力した論文の方がインパクト大
- ⑧ 異なる常識・契約方法・価値観・相互理解方法、所属組織の目標の相違が、国際共同協力の難しさをどう乗り越えるかが、共同研究を成功させる鍵
- ⑨ 共同研究者同士の物理的距離・個人主義・研究者の処遇・将来計画などが、国際的プロジェクトの運営に影響

また、Hagedoorn ら(2000) は、異なる機関間の協力契約は、共通の R&D の目標に対して、資源を共同出資することであり、企業における共同研究の特徴 9 点を、以下の通り述べている。

- ① 不十分な契約に支配された活動における取引費用の削減
- ② 有効な活動範囲を拡大
- ③ ネットワークの創出により、効率・相乗効果・勢力の増加
- ④ 他に存在するよりよい資源を得るため相補的な外部資源と機能にアクセスし、継続的に優位性を開発
- ⑤ 組織学習を促進し、核となる能力を内面化し、競争力を強化
- ⑥ 優位なハイリスクの条件化で、新たな投資の選択肢を創出
- ⑦ 共同研究者との情報共有を強化する一方、知識の波及効果を内面化し、研究成果の流用度を向上
- ⑧ R&D 費用を抑制
- ⑨ リスクを共用し、競争を吸収

多くの国際共同研究は、初期には CERN のような制度が始めた費用分担の考え方で、推進されてきた。続いて、資金提供及びその運営を主に一国の研究者や管理者が行うという意味では国家的だが、外国の協力者に意図的に開放されて

いる研究計画が実施されるようになった。超伝導超大型衝突型加速器²⁴やヒトゲノム計画のような費用分担型の制度に、外国の政府・資金を引き入れることを目指しているのである(ギボンズ, 1997)。つまり、最大規模の科学プロジェクトを一国でまかなえる国家が存在しないことが主な理由となって、科学における国際協力は著しい進展をみせている(トーブス, 1988)。

国際共同研究を成功させるために、メンバー間で頻繁なコンタクトを行うことによって、協同構築のための時間と空間を提供し、対等で探求的な議論スタイルによって、協同構築のための支持的かつ創造的な雰囲気を提供できる。さらに、研究目的や興味の共有は、協同構築のための土台を提供し、知識や技術、役割などの分散は協同構築のための道具と資源を提供する。これらの協同構築の過程を経て、仮設空間の探索と実験空間の探索がうまく統合された場合、共同研究による科学的発見が起こる可能性がある(岡田, 1999)。競争を促進するためにコラボレーションを利用するという矛盾は、イノベーションへのたえない圧力によって作り出されるものでもある(ギボンズ, 1997)。しかしながら、研究協力には、競争を妨げ静的動的独占を生み出す欠陥も、潜在的にあるという指摘もある(Hagedoorn et al., 2000)。さらに国際協同研究は、科学者に対して国際的な仕組みの中での組織化の役割を演ずることをより強く要求し、間国家的な競争は、科学者に国家を超えた市場での活発な取引することをより強く要求する(ザイマン, 1995)。

Katz & Hicks (1997)は、複数の所属機関が出した論文は、単一機関から出された論文よりもよく引用されており、外国人の共同研究者がいると、自国人のみの論文よりも多く引用されると指摘している。同じ所属組織、自国の他組織、外国の組織の同僚と協力することで、より大きな分野や領域を越えて繋がる。同じ組織の共同研究者と一緒にだと、インパクトはエクスポネンシャル的に増える。インパクトは自国外国の機関の数が増えると線型的に増える。自国の共同研究しかない論文よりも外国組織と協力した論文の方が大きなインパクトを持つと述べており、研究プロジェクトにおける国際協力を評価している。また、Maskus ら(2013)は高い業績を生み出す外国生まれの博士学生は、米国の大学の知の創造を向上させていることを発見し、「平均的な米国の大学の科学・工学の

²⁴ Superconducting Super Collider、以降 SSC と略す。

ラボの論文を生み出す生産性は、同じ国の出身の学生が10人集まったラボより、10の異なる国の出身者で構成されるラボの方が高い」ことを報告した(森, 2013)。これらの報告は、異なるカルチャーで訓練を受けた人々がチームワークの環境下に置かれた時、異なる専門性を示すことを示唆している。多様なアイデアを持っているとき、チームワークはより生産性が高く、より効率が高い。多様性が高いと、彼らはそれぞれ切磋琢磨することができる。

このように共同研究が増加する中、共同研究によって知識を広めており、選ばれたグループにおいて、認められた、また価値ある共同研究者として、同胞から信望と承認とを求める(ライデスドルフ, 2001)。そして、著者の掲載順は研究者にとってますます重要な関心ごとになっていると言える。例えば分子生物学では、論文著者の順序と役割が明確で、共同研究を進める上でのインセンティブになっている(Knorr-Cetina, 1999)。物理学以外の分野ではヒトゲノム計画が予算面では「ビッグ・サイエンス」と言えるが、非中央集権的に個別の研究室で行われたものであり、物理学における研究グループによる「ビッグ・サイエンス」とは運営体制が異なる(Knorr-Cetina, 1999)。

高エネルギー素粒子物理学は、大きな機械という点でもまた大規模な実験という点でも全体を分業・分割できないという特別な条件を備えており、ビッグ・サイエンスの中でも異彩を放っている。宇宙科学・宇宙物理学・天文学などでは、地上に据え付けた電波望遠鏡や衛星軌道追跡センターのように、非常に技術的に高度で働かせるのに高価な中核設備が必要だが、一連の多かれ少なかればらばらに独立した学術上の観測や実験を行うことができ、研究プログラムは比較的小規模の研究チームに分かれて、個別のプロジェクトに分散化することができる(ザイマン, 1995)。

もちろん国際科学プロジェクトがいつも成功するとは限らず、ビッグ・サイエンスの組織運営に科学者以外が積極的に関わって失敗した事例がある。1990年代にテキサスに建設予定であった「SSC計画」である。SSC研究所運営の要となるジェネラル・マネジャー以下、電磁石部門などの重要な部門の管理職ポストの多くは、海軍や陸軍からやってきた官僚、軍事産業の経営陣などによって占められていた。平田・高岩(1999, p. 213)によれば、その結果「SSCにおいては官僚の意図する運営体制が科学者のアカデミズムと矛盾し」、計画は中止されたという。

2.4.1 ビッグ・サイエンスの組織的特徴

科学の研究室では、研究が皆の認める目的であり、必要な道具や材料はその場に用意されており、各科学者は互いに結ばれて知識生産の効果的なシステムを組織する（バーンズ，1989）。ビッグ・サイエンスでは、個々の科学者はより高い階級に従属し、階層化された管理構造の持つ合理性に逆らうことは難しく、巨大な実験室の運営には平等や直接参加はあり得ない（ザイマン，1988）。また、ビッグ・サイエンスにおいて、研究は事細かに計画され確実に管理されていなければならない、結局は仕事の組織化であり品質管理ということになる（ザイマン，1995）。

ギボンズ(1997)は高エネルギー物理学をビッグ・サイエンスの典型例であるトランスディシプリナリティな科学研究であるところのモード2として位置づけ、大人数の科学者の技術と想像力が技術システムに組み込まれ、その組織の特徴は R&D のものと酷似し、高名な指導者の単なる研究手段ではなくなると述べている。また、ヒトゲノム計画のような大規模プロジェクトでは、プロジェクトを構成する専門家たちが、最後まで分散したままになっており、大規模プロジェクトを実行する組織はピラミッドではなく、クモの巣の様相を呈するとも指摘している。つまり、高エネルギー物理学の場合のように加速器に研究者が集まってくるのとは異なった体制で、大規模プロジェクトが進められることもある。

巨大科学研究が成功した際、そのチームのリーダーに、公平を欠くことなく認知と褒賞を与えるのは難しい。だからチームリーダーの科学者集団内での地位は自然と高まり、権威が増すのはさけられない（ザイマン，1988）。フェルミ国立研究所、CERN、高エネルギー加速器研究機構などの高エネルギー物理学の著名な研究機関では、開発研究の重要なポストは研究者が担当し、アカデミズムと運営体制にある程度折り合いをつけることに成功しているが、平田・高岩(1999)はこのような運営体制は研究の現場における経験から習得されるものであろうと推測している。

RHIC プロジェクトと非常に似たプロジェクトの例として、日本原子力研究所（当時）と理化学研究所が共同で建設した大型放射光 Spring-8 があるが、この共同チームの特徴としては、業務の指揮命令系統はあくまでそれぞれの研究所に属しており、共同チームで決定された事項をそれぞれの研究所が責任を持つ

でライン業務として実行していくという、いわば「紳士協定」により成り立っている形態であったと、鈴木（2001）は述べている。共同チームは、具体的な法人格ではなく「場」として存在していたのである。

Shore & Cross（2005）は、国際熱核融合実験炉プロジェクトである ITER のケーススタディーを行い、研究者が所属する国によってプロジェクトマネジメントの傾向が異なることを明らかにしている。それぞれの作業場所・予算計画、研究者の家族や教育面でのサポート、研究者の給与面でのばらつきなど多くの要因が、国際的なプロジェクトの遂行に強く影響を与えていると述べた。

2.4.2 高エネルギー物理実験の特徴

ザイマン（2006）は、高度に訓練された多くの「科学者たち」は、その技術の完成に力を注いで実質は専門的技術者になり、「巨大科学」に必要なチームワークの中で、研究の長期的な学術目標をより理解していると思われる他の科学研究者にその技術を提供することによって知識の進歩に重要な貢献をすると同時に、技術の進歩があるかもしれない可能性を述べている。

高エネルギー物理学の研究は一つの「巨大な器械」を囲む世界的な規模の基礎の上に組織化されることが必然となっており、この領域の科学者共同体はすでに地球的規模で組織化され、その機能を動かすためには国家を超えた政治的な機構ができなければならない（ザイマン，1995）。

大型加速器施設を統括する管理態勢はきわめて多様である。たとえば、CERN は多くの政府が集まった共同体で、巨額の予算は協定によって各政府が負担分を拠出する形をとっており、自前のスタッフを雇用し、施設を実際に利用する科学者たちの支配下に運営されるという伝統を形作ってきている（ザイマン，1995）。

トーブス（1988）は、CERN における UA1 実験でノーベル賞を受賞したルビアと周囲の研究者達の活動を描くことで、素粒子物理学（高エネルギー物理学）の分野では、カリスマ性・政治力・リーダーシップ・プライオリティ（先取権）のための駆け引きのうまさといった側面も無視できない状況を明らかにした。

ビッグ・サイエンスのプロジェクトが進められていく中、加速器による研究は、国際的な協力によって進めるべきであるという考えも強くあった。それは核の問題と無関係でない物理学者として、世界平和と調和するように研究を進

めていくことの必要性和、加速器が大型化し一国の力では建設ができないものになるであろうという予測に立っていた（平田・高岩，1999）。また、加速器が巨大化し、超高精密化していったため、それぞれに特色を持ったウルトラマシーンを、国際チームで共同利用しあうという体制が自然に発達してきた（立花，2009）。村上（1994、p. 97）は、大規模実験物理学は資源が限られているため、他人の業績についての追試が行われる可能性は極めて低くなると指摘している。

Knorr-Cetina(1999)は、高エネルギー物理学者の集団は彼らの実験の物質世界の存在に依存していることを示した。集団内で「知識を有する個人」が消えている一方、科学者の貢献と素粒子の検出器の貢献を分離できないような実験に科学者は参加している。人間と装置を明確に区別できず、科学者はもはや彼ら自身の実験結果を発表するためには会議に出席しない。チームや集団は研究結果の発表者として、実験には全く参加していない研究者を選ぶこともある。物理学者は社会学者より先を行っており、彼らは個人と集団の区別を越えている（カロン & ロー，1999）。

ザイマン(2006)は、研究グループが大型化するにつれ、多くの異なる組織からの科学者のチームで大規模な研究施設をし、それを利用するために適切な管理システムが必要になるので、研究が個人モードから集団モードに変わり組織の形が整えられると述べている。科学知識の生産とその応用との関係を組織的に改善し、大型化に適した運営が必要になる。よって、高エネルギー物理実験は資本集約型研究の代表例と言えるだろう。

まず目標のエネルギーを持った一時素粒子ビームを発生させるためだけのために、数十億の単位のドルのそれも一括投資が必要である。さらにまたそれぞれ個々の実験には、補助の器械、特別仕様の検出器、建設工事、電子回路、コンピュータ・ソフトウェアが必要であり、それにまた何億ドルとかかる。その上、1・2年の間滞在する数百人の科学者、技術者、技官のための人件費が加わる。新しい論文一編の生産にもこれだけの余分な資材人材が必要であるが、その唯一の解決策は素粒子物理学者の労力と資金を 10 大学ぐらいの、しかも多くの場合しばしば数か国にまたがったグループにまとめてプールすることである（ザイマン，1995，p. 72）。

ザイマンは、高エネルギー物理学が全世界の科学者たちが使えるような超巨大加速器の建設へと向かい、巨大装置を使って研究する機会が最終的には割り当てで決められてしまう官僚政治の中で、各研究チームが独立を保ちつつ競争を続けるというシステムが組み込めず、このような組織の枠内で、不適当な研究結果や誤りを取り除けきれぬか、不安を指摘している（ザイマン，1985）。また、高エネルギー物理実験の研究者は、数少ない最先端の加速器の一つを定期的に訪れることによってのみ研究を行うことができるため、彼らは皆知り合いであることに加えて、学部及び大学院での公式の物理研究、長いポストクの期間まで続く見習い研究期間を含めた長い社会化のプロセスが存在し、生き残った科学者は著しく均質になる（Traweek, 1992；ポーター，2013）との報告もある。

日本の事例では、吉岡(2006)は高エネルギー物理学研究所（KEK）における加速器の運転に焦点を当てたフィールドワークにおいて、各部門を結びつけているのが加速器の一部である運転室であると報告し、装置と実践の共同体における様々な資源のアクセスが、切り離せないものであることを示している。つまり、建築物を作ること、装置を作することは社会組織を構築することであり、また、社会組織を構築することは、各メンバーの様々な資源へのアクセスの在り方をデザインすることである（上野・ソーヤー，2009；吉岡，2006）。

高エネルギー物理学者の中で分業が進んでいる状況も報告されている。トーブス（1988）は、CERN 常勤の物理学者が、物理についてはタッチせず、ハードウェアや検出器のメンテナンスを専門的に行っている状況を明らかにした。同じく CERN の例では、多数の大学からやってきた何百人もの教授・講師・大学院生が単一の巨大な実験の計画と実行のためにすべての科学的精力を注いでおり、「協働」により研究が進められいている。それに参画した大多数の者は通常、非常に強力なチームの指導者に個人的な科学的自主性を譲り渡しており、局所的名声はあるとしても、その名声は学会発表や論文発表を通じて一般的なアカデミック市場へと広まっていくわけではない（ザイマン，1995）。高度に訓練された多くの科学者たちは、その技術の完成に力を注ぎ、学問的な独創性を追究するよりは専門的技術者になる者もいる。「巨大科学」に必要なチームワークの中で、彼らは、研究の長期的な学術目標をより理解していると思われる他の科学研究者にその技術を提供することによって知識の進歩に重要な貢献をする

(ザイマン, 2006)。

ビッグ・サイエンスにおいて不均質な集団が共同で科学論文という知識を創造するにあたり、分業化が図られ、貢献度が一義的に分からない著者掲載を行うことが、特に高エネルギー物理実験の特徴として言うことができる。しかし、誰が貢献して想像したのか明確でない知識そのものを保証するには、不安定さを除ききれないという指摘もある (Galison, 2003)。

2.5 知の創造プロセスとしての科学

2.5.1 知識とは何か

西欧の文化では、科学 (Science) と知識 (Knowledge) はしばしば交換可能であり、また科学的知識 (Scientific knowledge) というように組み合わせて使われる (ギボンズ, 1997, p. 21) が、科学社会学に関する研究において知識の定義を再確認することは重要である。また、高エネルギー物理学者は、昔から扱う情報量 (研究データ) がケタ違いに大きく、かつ研究者があちこちに分散しているため、高度の情報通信網が真っ先に発達した研究領域として知られている (立花, 2009)。そのために、第一章で紹介した通り、CERN で WWW が開発されたのである。インターネット経由で知識のやり取りをしながら研究を進めるなど、ナレッジマネジメントを意識していない状況で、経験上独自のナレッジマネジメントを築き上げたといえるだろう。まずは、知的資産・知識そのものの定義を見ていくことにする。

「我々は語ることができるより多くのことを知ることができる。」と述べ、初めて暗黙知を表現したのはポラニー (1980) である。続いて、ゲシュタルト (形態) は、我々が知識を探求するときに経験を能動的に形成する活動の結果として成立し、能動的形成、あるいは統合こそが、知識の成立にとって欠くことのできぬ偉大な暗黙的な力であるとし、暗黙知と形式知が相補的であることを述べた。

アリストテレスは、知を「エピステーメ」、「テクネ」、「フロネシス」の 3 つに分類したが、野中 (2006/2014) は知識創造の根幹にあるのは、知識の知恵化を支援する「フロネシス (実践と知性を総合するバランス感覚を兼ね備えた賢人の知恵)」である (表 2-2 参照) と主張している。それを受け、文化的な要因

の理解にプロジェクトマネジメントの実践知（フロネシス）が重要であるという立場（永谷，2014）で、フロネシス・プロジェクトマネジメントを推進する動きがある（本間・永谷，2013）。

表 2-2 知の三分類

分類	英名	内容	種類
エピステーメ	episteme	一般性を志向し特定の時間・空間・他者との関係性、つまり文脈／コンテキストによって左右されない、客観的知識	形式知
テクネ	techne	テクニックやアートに対応する実践的かつ文脈によって異なる、ものをつくり出す実践的知識	暗黙知
フロネシス	phronesis	倫理の思慮分別をもって、その都度の文脈で最適な判断・行為ができる賢慮・実践的知恵・実践理性	高質の暗黙知

出典：野中（2006・2014）より筆者が作成

認識論的に見ると、知識は暗黙知と形式知に分類することができる（ポラニー，1980）。また伊丹・輕部（2004）は、見えざる資産とは技術やノウハウの蓄積、顧客情報の蓄積、ブランドや企業への信頼、細かな業務をトータルにきっちりと実行できる仕組やシステム、生き生きとした組織風土など、企業が持っている「目に見えない」資源を意味し、すべての見えざる資産が情報や知識に関連したものであると述べている。つまり、組織において業務を遂行するために不可欠なものを、暗黙知・見えざる資産と定義している。

自然科学論文は形式知であるが、論文を生産するまでの過程には、研究者の個人的知識や知恵、経験といった暗黙的な知識も大いに活用される。Milton（2005）は、知識は経験に基づくもので、情報もちろん、理論や経験則の応用で、知的な決断をする際に必要なものであると定義しており、暗黙知・形式知両方を包含すると整理している。我々が明示的に言明化できる知識体系の背景には、それを支える膨大な、詳記不能な知識体系「暗黙知」が存在する。ポラニーの主張のように、従来の科学論の形式主義的な傾向を批判し、科学的実践

の背景にある暗黙の前提を明らかにすることで、科学的実践が明示された形式的認識論では収まらない、膨大な慣習や熟練などの暗黙知、認識への個人的情熱によって知識体系が構築されている（福島，2010）。

知識の実際的な定義として、データ・情報・知識・知恵の4つにダベンポート・プルサック（2000，p. 16）は分類している。データとは、何事かに関する事実の集合であり、一つひとつの事実の間には関係づけがなされていない。情報は、メッセージとして、送り手と受け手が存在し、意味を持っていてある目的のために創られる。知識とは、反省されて身についた体験、さまざまな価値、ある状況に関する情報、専門的な洞察などが混ぜ合わさった流動的なものであり、新しい経験や情報を評価し、自分のものとするための枠組みを提供する。それは、人の心に発し、人の心に働きかける。組織において知識は、文書やファイルの中に存在するだけではなく、組織の日常業務、プロセス、慣行、規範のなかに埋め込まれているのであり、形式知の隙間に暗黙知が存在していることを指摘している。知恵は、知識のさらに上位コンセプトである。

それを受けて、梅本(2012)は、この4つを以下の通り定義し、知のピラミッド(図 2-2 参照)として整理している。

- データ：生命体（人間）が創り出した信号・記号（文字・数字）の羅列
- 情報：データから抽出された断片的な意味
- 知識：行為につながる価値ある情報体系
- 知恵：実行されて、有効だとわかり、時間の試練に耐えた知識

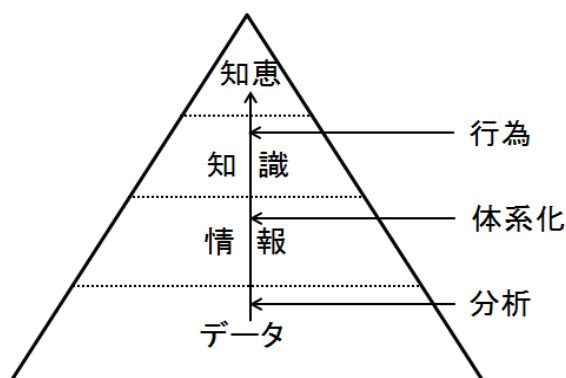


図 2-2 知のピラミッド

出典：梅本(2012)，p. 276.

2.5.2 知識創造理論

野中・竹内(1996)は、個人によって作り出される知識を組織的に増幅し、組織の知識ネットワークに結晶化するプロセスを組織的知識創造と呼び、暗黙知と形式知の関係、個人知を集団知に変換する事象を、知識創造理論にまとめた(図2-3 参照)。

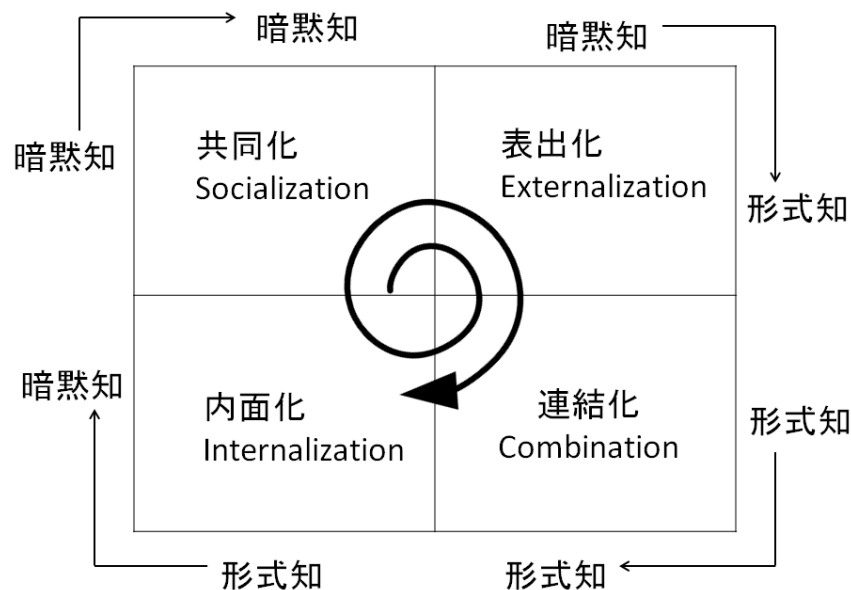


図 2-3 知識創造理論

出典：野中・竹内(1996), p. 93 と p. 106 から筆者改変

組織的知識創造理論は、「SECI モデル」、知識創造のための共有されたコンテキストとしての「場」、知識創造プロセスにおける材料と成果としての知識資産、知識創造プロセスの促進要因を提供する「ナレッジ・リーダーシップ」の四つから構成される（野中・梅本, 2001）。植田・丹羽（1996）は、知識創造のダイナミクスを個人単位での協調活動に注目し、協調活動の分類を試みた。

2.5.3 ナレッジマネジメント

以上に述べた知識の定義を確認した上で、ナレッジマネジメントについて見ていくが、ナレッジマネジメントを狭義の意味で捉え、データや情報を集積する IT のツールを使うことと言ったような、誤ったイメージが存在している。し

かし、ITを導入して形式知を整備しただけでは知識の生産に寄与することはできない。

フォンクロー・一條・野中(2001, p. 5)は、「ナレッジ・イネーブリングとは、組織または地理的な境界や文化の壁を越えて感情に基づく知識を共有し、組織のケアを土台として会話や人間関係を促進することである」と定義している。また、どのような組織でも、グループで正当化を行う際には、1) 共通言語の必要性、(2) 組織のストーリー、(3) 業務手順、(4) 企業パラダイムの4つの障害があり、知識は違いを明らかにすることからも生まれてくる。新しい知識を明確にするには、違いをまず大きく捉えてそこから更に細かく分析していかなければならないと述べている。知識は個人のものの見方によって左右され、人々の相互作用のあり方が暗黙知の浸透に影響を与える。イネーブリング・コンテキストを、物理的空間(オフィス・デザインや業務手順)、仮想的空間(電子メール、イントラネット、テレビ会議)、メンタルな空間(共有された経験、考え、感情)もあるし、さらにまたそれらが組み合わされた空間で、知識が共有、創造、利用される場所として捉える。そしてそれは何よりも、参加者のケアと信頼とで成り立っている交流の開始、会話の実践、会話の記録、知識の内面化という4つの相互作用のネットワークを指している。そしてこれは、生じる人間関係の深さや質によって定義される、進化し続ける知識空間、知のスパイラルであるとまとめている。

ディクソン(2003)は、コモン・ナレッジについて、社員が組織の仕事をやる中で学び取る知識、個々の会社に特有な「ノウハウ」、組織全体を通じて多くの人たちが、関連する同じような「ノウハウ」を持っており、行為に由来し、他の人たちが行為する時に使える可能性をもっているものと定義し、知識は、人々が心の中で作り出す情報と情報の間の意味ある結びつきであり、またそれを特定状況での行為に応用したものと主張している。したがって、科学研究の現場におけるナレッジマネジメントを分析するには、現場の状況を調査しないと、意味のある知的資産の創造・共有・活用・蓄積に関する考察ができないのである。

福島(2001)は、ルーティンのなかの核である一定期間内に行う仕事をタスクと呼び、暗黙知の力によって習得している個人が、それを他者にどう伝達する

かが、コミュニケーションとの関係で問題をあらわすと述べている。ナレッジマネジメントには、関係者のコミュニケーションを分析することが必須である。

さらに、ナレッジマネジメントは組織学習と縁が深いが、学習は時間の経過とともに進んでいくプロセスであると定義し、学習する組織は知識の取得や理解の進化、パフォーマンスの改善に結びつける特徴があるとガービン（2002）は述べている。知識を創出・取得・解釈・伝達・保持するスキルを持ち、また新たな知識や洞察を反映させるよう意図的に行動を修正していくスキルをもった組織が、学習できる組織なのである。

伊丹（2005）は、類似の仕事の経験を異なった時期にしたことのある人間同士の間にも「想像の場の共有」が可能であると指摘している。しかしながら、一つの企業の中で、異なった国々で働く人々の間では、物理的接触は空間的距離が大きいために難しくなる。文書的接触も、異なった言語圏の間では、それほど容易ではない。想像の場が生まれるように配慮し、アジェンダの共有と解釈コードの共有によって行われる。共通の過去の体験や過去の接触をもつ人々で想像上は共同体に近い状態になる。このような状況が、多国籍のメンバーで構成される大規模物理学実験のグループ内でも起こっている。

また伊丹（2005）は、人々間の情報と心理の相互刺激の舞台づくりをすること、その舞台を、「場」という概念で呼んでおり、人々がそこに参加し、意識・無意識のうちに相互に観察し、コミュニケーションを行い、相互に理解し、相互に働き掛けあい、相互に心理的刺激をする、その状況の枠組みのことを指している。場は、人々が多様な様式やチャネルを通じて情報を交換し合い、刺激し合う動的な環境である。野中（2014）は、場を「動的文脈の共有」と定義している。

ナレッジマネジメントの最も簡潔な定義は、「知の創造・共有・活用の実践と、それを理解し説明する学問分野」であり、それをもう少し俯瞰すると、「個人やグループの持つ既存の知を共有・活用しながら、新しい知を創造し続ける経営の実践と、それを理解し説明するコンセプトや理論的モデル」ということになる（梅本，2012）。ナレッジマネジメントは、データ・情報・知識・知恵という知のピラミッドを活用するものであるが、データから情報を抽出するのが「分析」であり、情報から知識を創造するのが「体系化」であり、知識を知恵に昇華するのが知識を実行するという「行為」である。ナレッジマネジメントのもう一

つの定義として、「データを情報に、情報を知識に、知識を知恵に変換すること」(梅本, 2012)がある。

2.6 組織における権限とコミュニケーション

協働の体系としての組織がうまく機能するためには、各個人の意思決定は互いに整合的であることが望ましいから、近代組織論では組織経営の中心的課題は、「独立な個人の意思決定の調整」があり、その調整のために、権限の仕組みとしての公式の組織構造が作られ、組織内のコミュニケーションの仕組みが作られる。さらに、実質的に個人の意思決定に大きな影響を与えているものとして、非公式組織の重要性が指摘される(伊丹, 2005)。

組織は、権限と影響のシステムを確立することによって、組織の階層を通じて、決定を上下左右に伝達する。そのもっともよく知られる形態は、公式的な権限のハイアラーキー・階層である。しかし、同様に重要なものとして、特定の個人への公式的な助言機能の割り当てもある。さらに、非公式的な影響のシステムの発達も、無視できない。それは、公式的な地位に部分的に基づいているが、同時に社会的な関係・非公式な関係にも部分的に基づいて形成される(サイモン, 2009)。また、組織図に示されている「権限のライン」は、特別の重要性を持つ。特定の決定について組織内で合意に達することが不可能と分かった場合、討議を終結させるために、「権限のライン」に頼られるからである(サイモン, 2009)。

組織には、全ての方向に向かって流れるコミュニケーション経路がある。この経路に沿って、意思決定のための情報が流れる。さらに、この経路には、公式的なものと非公式的なものの両方がある。公式的な経路は、部分的には公式的な権威のラインに基づいているが、部分的にそれとは切り離されている。非公式的な経路は、非公式的な社会的組織と密接に関係している(サイモン, 2009)。つまり非公式なコミュニケーション経路を無視できないのである。

自律性と階層性を兼ね備えた相互作用のマネジメントという、一見矛盾に聞こえそうなことをしていくのが、組織の経営であり、タテの影響とヨコの相互作用への働きかけとの両方が必要である(伊丹, 2005)。

場での情報や感情のやり取りからもたらされる協働的な組織行動と組織的な情報蓄積は、その組織の生産性や業績に大いに影響する。逆に言えば、組織としての力を最大限に引き出し、パフォーマンスを上げるためには、場を生成させ、ヨコの活発な情報や感情のやり取りを促す必要があるのである(伊丹, 2010)。

粒子としての光は、組織の中の個人に例えることもできる。波動に対応するのは、情報的相互作用であり、その情報的相互作用の動きからなる全体が、場である。場では、どの個人という粒子の存在は通常は表立って問題にしない。しかし、場の情報的相互作用の特異点として、どうしても現れてくる特異な存在として個性が輝く時がある。それが光の粒子のような個人である(伊丹, 2005)。組織を構成するメンバーの個性とメンバー間の相互作用が、組織のパフォーマンスに大きな影響を与えるのである。

2.7 コンフリクトマネジメント

Boulding (1963) は、最適ストレス、創造的カオス、挑戦的プレッシャーは、挑戦的な目標やタスクが設定されることによって生じる緊張状態そのもので、これに対し、仕事上の意見やアイデアをめぐるコンフリクトである創造的摩擦は、緊張状態を作りだす規定要因だから、知識創出を促進する適度な緊張状態のメカニズムを明らかにする上で、創造的摩擦がどのように生じるのかを検討することが有効と考えられると述べた。また、Thomas(1992)はコンフリクトを「ある集団が、あることについて他方の集団が失望感を抱いた、もしくは失望しつつあることに気づいていること」と定義している。

コンフリクトは内部競争のあり方によって影響を受けると考えられる。なぜなら、コンフリクトが「相矛盾した希望や要求を持つ他者が競争している状態」を意味し、競争は「2人以上の人が、全員が同等に共有できないような有形、無形の報酬をめぐって競い合っている状況」を指すからである。つまり、メンバーが報酬をめぐって競い合っているほど、相互に対立した要求を意識するようになり、コンフリクトが起こりやすくなると言える(松尾, 2003)。

個々の組織の内部では、多くの利害関係者が対立したり競合したりしており、これを払拭することは不可能に近く、コストを最小限に抑えるように複数の合理性(multiple rationality) が成り立っていると田尾(2003)は述べているが、

大規模加速器実験においても、過去の研究グループの組織運営を参考に、組織形態を整えてきた。新制度派組織理論では、社会的な規範が信仰に近い形で特定の集団に内包され、それが組織構造や組織過程あるいは組織の構成員の認識や行動に影響を与えている事実に着目しており（佐藤・山田，2004）、発生したコンフリクトに対応して組織も形を変ええると言える。たとえば伊藤(2009b)は、組織外部の制度的ロジックによって、研究室の形態がカスタマイズされている状況を報告している。

2.8 おわりに

本章では、科学社会学とナレッジマネジメントに関する先行研究レビューを行った。そこから得られた知見と研究課題を大きく3つに整理する。

(1) 自然科学の研究組織におけるナレッジマネジメント

数百人の組織で成果を創出するには、トップダウンやボトムアップのマネジメントが取られることが通例であるが、自律性・専門性の高い科学者集団において一般的な組織マネジメントやナレッジマネジメントとは異なる独自の仕組みが予想される。しかも、研究成果を継続的に創出しているので、その仕組みを明らかにすることは理論的にも新しいモデルに繋がり、価値がある。また、企業の研究開発組織に対して展開できる可能性もあり、実務的にも有意義である。

ところが、大規模研究グループの科学者集団に関するナレッジマネジメント研究、特にビッグ・サイエンスに関するナレッジマネジメント研究はほとんど見受けられない。また、バーンズ（1989）は科学知識の生成とその形式知化、知識の共有と移転についてモデルを示しているが、科学知識の生成の詳細については明らかにされていない。したがって、科学社会学研究にナレッジマネジメント研究の視点を取り組むことは、新たな知見をもたらすと考えられる。

(2) 高エネルギー物理学者の特徴

Knorr-Cetina(1999)、カロン & ロー(1999)、ザイマン(2006)をはじめとする科学社会学に関する先行研究においては、ビッグ・サイエンスに携わる物理学

者は、集団の中に埋没し、個人として目立つことはないとされてきた。しかしながら、研究者個人は実験グループに貢献し、自分の業績を積み重ね、評価を受け、報奨を受け取ることで、研究者としてのキャリアを積んでいく。またその結果として、高エネルギー物理学者の階層が構成されるが、いかに階層が構成されるかについての説明がない。また、高エネルギー物理実験の研究者は、長期間の社会化プロセスを通じて著しく均質になる (Traweek, 1992 ; ポーター, 2013) とあるが、装置に特化した高エネルギー物理学者が存在する事実に加えて、古くは中岡(1971)が指摘している通り、CERN でも分業化が進んでいる実態と矛盾する。均質化と分業化の関係を明らかにする必要がある。また、ザイマン(2006)は、巨大科学のチーム内で、科学者がその技術の完成に力を注ぎ、学問的な独創性を追究するのではなく、実質は専門的技術者になっていると述べているが、物理の最先端研究を成立させるために、物理学者自身が検出器製作に取り組んでいる実態を正確に記述していない。

さらに、Galison(2003)をはじめとする高エネルギー物理実験の著者の考え方をさらに深め、組織体制・論文生産システム・報奨システムまでを統合・俯瞰した描像を提示することで、科学社会学の領域に貢献できる。

(3) コンフリクトマネジメント

本来科学研究は競争して研究成果を競うものである。しかしながら、予算や専門の分化が進んだビッグ・サイエンスでは、多人数の研究組織を作らざるを得ない。集団内では集団の構成・他者の行動・コミュニケーションが、集団外では作業と報奨システムが競争と協調の決定要因となる (Jewell & Reitz, 1981) ため、集団のプロセスを研究する際には、集団内に存在する競争と協調のバランスを考える必要がある (松尾, 2003)。協調しないと研究ができないが、研究成果は競って自分が手にしたいと言う、相矛盾した希望や要求を持つ他者が競争している状態、コンフリクトを抱えた中で、一つの実験グループとして研究活動が進められている。研究現場でどのようなコンフリクトが発生し、それをどのようにマネジメントしているか、研究組織はどのようなロジックに対応しているのか非常に興味深い、分析した事例がほとんどない。科学社会学研究に集団組織論的視点を持ち込むことは、重要であると考えられる。

第3章 事例分析

3.1 はじめに

本章では、まず本研究の主な舞台である BNL と理化学研究所、BNL に設置されている加速器 RHIC の成り立ち、PHENIX グループの歴史を概観する。その後、PHENIX グループ内部の活動を具体的に記述した上で、PHENIX グループに関わる研究者へのインタビュー（表 3-1 参照）・PHENIX グループウェブサイト²⁵・文書等から収集したデータを、ナレッジマネジメントの視点で分析する。

表 3-1 インタビュー対象者一覧

対象者	身分	経歴	日時
S 欧州系	BNL シニア研究者	RHIC 提案時から関わる	2011 年 4 月 6 日 15:30-16:30
A 日本人	PHENIX グループシニア研究者	PHENIX 提案時から関わる PHENIX グループ執行部	2011 年 4 月 29 日 16:30-18:10
			2011 年 5 月 3 日 15:30-16:30
			2014 年 8 月 29 日 17:30-19:30
			2014 年 10 月 21 日 17:30-19:30
O 日本人	BNL シニア研究者	RHIC 建設当時から関わる	2011 年 5 月 12 日 15:00-16:00
T 北米系	BNL シニア研究者	PHENIX グループ執行部	2011 年 5 月 16 日 13:30-14:30
K 北米系	PHENIX グループポスドク	大学院時代から PHENIX グループに加入	2011 年 5 月 18 日 9:30-10:30
P アジア系	PHENIX グループシニア研究者	大学院時代から PHENIX グループに加入	2011 年 5 月 18 日 10:30-11:30
Q 日本人	STAR グループ中堅研究者		2011 年 5 月 20 日 10:30-11:00
U 日本人	PHENIX グループ大学院生	大学院生として PHENIX グループに加入	2011 年 5 月 22 日 11:00-12:00

²⁵ PHENIX グループウェブサイト www.phenix.bnl.gov/, 2015 年 4 月 1 日アクセス。

Y 日本人	PHENIX グループシニア研究者	PHENIX 提案時から関わる	2011 年 6 月 10 日 17:30-18:30
			2014 年 9 月 20 日 17:30-19:30
			2015 年 4 月 1 日 17:30-18:30
H 日本人	PHENIX グループポスドク	大学院時代から PHENIX グループに加入	2015 年 3 月 10 日 17:30-19:00 M 氏と合同で実施
			2015 年 4 月 9 日 17:30-19:30
M 日本人	PHENIX グループポスドク	ポスドクとして PHENIX グループに加入	2015 年 3 月 10 日 17:30-19:00 H 氏と合同で実施
N 日本人	PHENIX グループシニア研究者	検出器製造時に主に活動	2015 年 4 月 2 日 17:30-19:30 X 氏と合同で実施
X 日本人	PHENIX グループ中堅研究者	実験立ち上げ時に主に活動	2015 年 4 月 2 日 17:30-19:30 N 氏と合同で実施
R 欧州系	PHENIX グループ中堅研究者	大学院時代から PHENIX グループに加入	2015 年 4 月 7 日 17:30-19:30
W 日本人	PHENIX グループシニア研究者	実験立ち上げ時に主に活動	2015 年 4 月 8 日 17:30-19:30
V 日本人	PHENIX グループシニア研究者	PHENIX グループ初期から活動	2015 年 4 月 16 日 17:30-19:30

3.2 ブルックヘブン国立研究所 (BNL)

アメリカのエネルギー省 (Department of Energy、以下 DOE と称す) 配下の国立研究所は、戦争の影響を否めない。プライス (1970) によると、「ジョージ・ブラクストン・ペグラムが、核エネルギーが国家の防衛の潜在力であることを、政府にみとめさせるのに尽くし、1946 年発起大学グループの代表者となり、ニューヨーク地区の核科学センターを設立することを提案した。大学連合者の設立と、ブルックヘブン国立研究所の創設に、重要な役割を果たしたのである (1970, p. 6)」とある。第二次世界大戦終了後、マンハッタン計画の研究所から大勢の科学者が辞めていくという事態に不安を感じたレスリー・グローブ將軍は、核兵器開発をさらに進めるためには、連邦政府は大学の科学者と新しい関

係を築くことを目指した。このような経緯があり、冷戦の影響で第二次大戦中に一時的に作られた施設が、1946-1947年には国立研究所となった。大学や他の国立研究所との差別化が模索されたが、BNLでは純粋科学の研究が行われている例が多い²⁶。

1990年代に入り、米国で研究開発を行うすべての機関の役割分担が明確化された。課題が複雑なうえ、研究開発にコストがかかるようになった結果で、基盤整理などは主に国立研究所の、一方大学は引き続き、基礎研究に重点を置く見通しがあった²⁷。

このようなアメリカの物理学の流れの中で、BNLは原子力の平和的利用に関する研究を目的として、アメリカNY州アプトン基地の跡地を利用して、1947年に設立された。現在は、アメリカのDOEから委託されたブルックヘブン科学協会²⁸によって運営されている。約3,000人の職員を抱え、年間4,000人以上の訪問者を受け入れている。DOE配下の国立研究所として、研究者や地域のコミュニティと協力し、適切に交流しながら素晴らしい研究成果と最先端の技術を生み出すことを目標としている。大学や研究機関では建設・運営が難しい研究施設を、アメリカ東海岸の研究者をはじめとして多くの研究者・学生に提供する役目も担っている。高エネルギー・素粒子物理学を中心として、化学・生物学・材料工学等幅広い研究部門を擁している(図3-1参照)。現在までに、7件のノーベル賞を受賞している。創設以来、BNLは加速器の共用施設として発展してきた。

初代 PHENIX グループ代表を務めた永宮氏は、BNLの歴史について、以下のよう語っている。「米国といえども最初からノーベル賞クラスの研究成果を生み出す土壌があったわけではなく、20世紀初頭に欧州の学問を米国に輸入し、その後米国で花咲いたという歴史を経ています。科学が発展すると施設も大きくなります。物理学者のI.I. ラービがハーバード、プリンストン、イエールなど米東部の有力大学に働きかけて、一つの大学では造れない装置を一カ所で造ろう

²⁶ Seidel(1983), pp. 375-400, ローゼンブルーム & スペンサー(1998)

²⁷ ローゼンブルーム & スペンサー(1998)

²⁸ ブルックヘブン科学協会は、バテルとニューヨーク州立大学ストーニーブルック校によって運営されている。バテルは、1929年にオハイオ州コロンバスにて設立されたNPO研究機関で、アメリカのエネルギー政策、環境政策、ホームランドセキュリティー等の新しい研究開発に関与している。アメリカのDOE配下の国立研究所(全米7か所)を管理・運営するほか、約20,000人のスタッフ・研究者のもとに幅広い研究を行っている。

<http://www.bsa-hq.org/about/about.php>, 2015年12月8日アクセス。

としたのがブルックヘブン国立研究所です。ブルックヘブンからもノーベル賞受賞者がたくさん出ました。ここへやって来た大学の研究者たちが素晴らしい成果を挙げたということです」²⁹。プライス（1970）の頃から、BNLは「見えない大学」の重要な拠点として多くの人々をひきつけていたが、現在においても学生や若手研究者はこぞって BNL で研究をしたいと希望して集まってくるようであった。BNL ウェブサイトのイベントカレンダー³⁰を見ると、毎日のように様々な研究会が開かれている。有名な研究者の講演も多く開催されており、たとえば格子ゲージ理論の創始者である研究者は特に若手から尊敬を集めていることを、複数の理論物理学者から聞いた。

BNL の職員で両親共にアメリカ出身の研究者は 1 割程度であり、今日 BNL は外国人がいないとやっていけない状況にある。また、CERN とは異なり、BNL では外国人の割合に制限をかけていないそうである。所長以外の経営幹部職に外国人が登用されることもある³¹。戦争中にヨーロッパからアメリカに外国人研究者が多数移ってきたため、歴史的に外国人を受け入れることに抵抗は少ないと考えられる。また、CERN と研究者の交換制度があったことも、影響しているだろうと S 氏は語った³²。外国人を BNL 職員や訪問者として受け入れる支援体制が、BNL 全体で整備されており、ビザ取得手続き等専門スタッフが配置されている。

CERN は最初から国際機関として作られており、世界中から実験の提案を受け付けていた。アメリカも同じように世界中から実験の提案を受け付けるように変わってきた。規模の小さい加速器の時代は、ビームラインを研究所が作って、そこに 1 つ 2 つの大学が来て、1-2 億円の装置を作っており、研究者も 10-20 人だった。加速器が段々大規模になると共に、100 人規模のコラボレーションが必要になってきた。アメリカやヨーロッパの経験を元に、それと同じ方式を RHIC でも導入した。加速器を作る予算、装置製作の予算が出たとしても、実験装置の予算が全部手当されるわけではないため、実験装置の製作などは、外国から予算つきで参加する人がいれば、大いに歓迎される。

²⁹ 永宮氏インタビュー記事より

http://scienceportal.jst.go.jp/columns/interview/20081007_01.html, 2016 年 2 月 27 日アクセス。

³⁰ <https://www.bnl.gov/events/>, 2016 年 2 月 27 日アクセス。

³¹ O 氏インタビューより（2011 年 5 月 12 日実施）。

³² S 氏インタビューより（2011 年 4 月 6 日実施）。

BNL は、加速器の開発をはじめとしたプロジェクトがくるから研究所が存在している。プロジェクトのオーバーヘッドによって研究所が運営されている。よって、加速器の運転を担う加速器部門(図 3-2 参照)や加速器を使って研究を行う物理部門(図 3-3 参照)が充実している。2011 年 4 月の時点では、BNL の将来の柱になる次期プロジェクトの検討中であった。

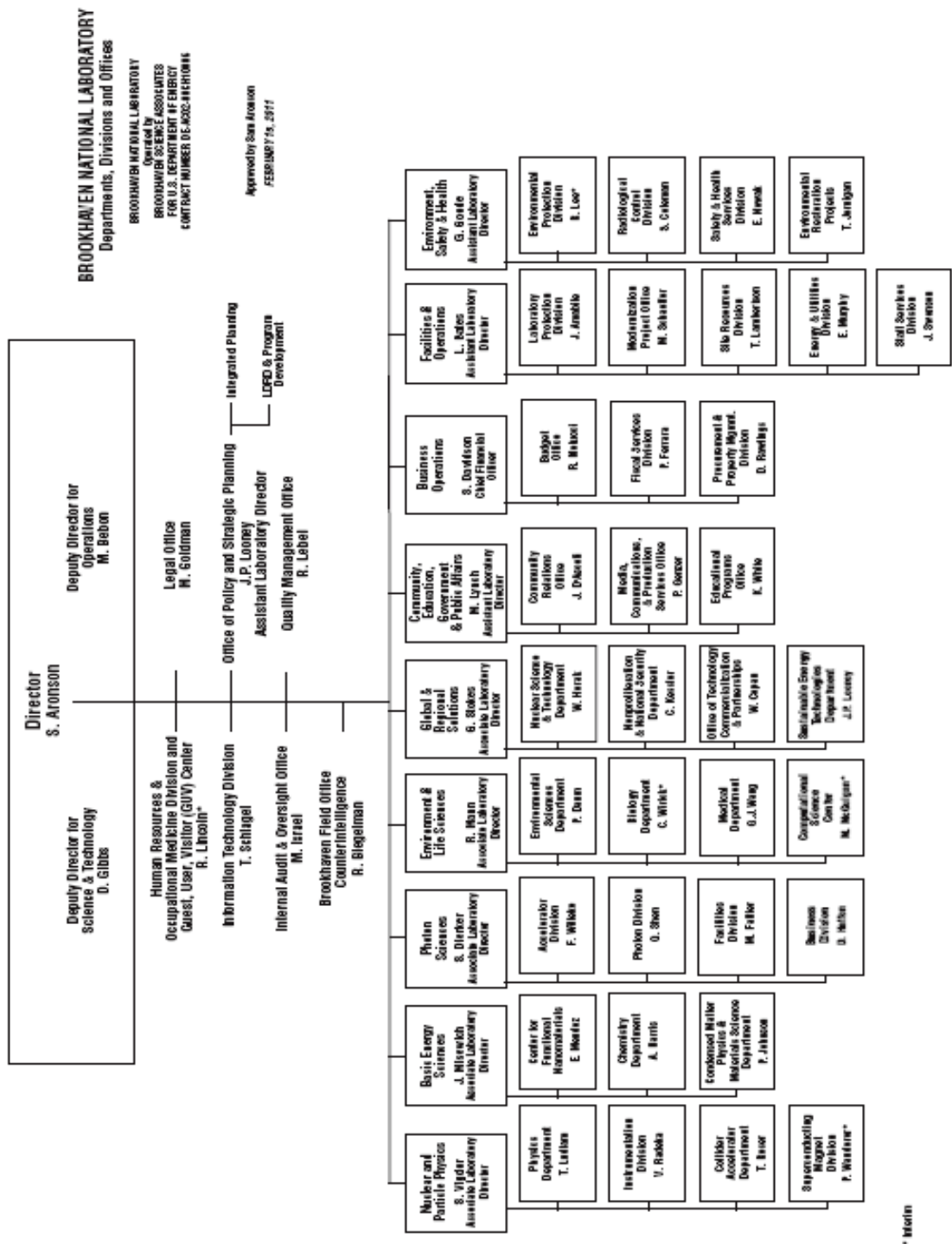


図 3-1 BNL 組織図

出典：BNL ホームページ³³

³³ https://www.bnl.gov/about/docs/org_chart.pdf, 2011 年 4 月 1 日アクセス。

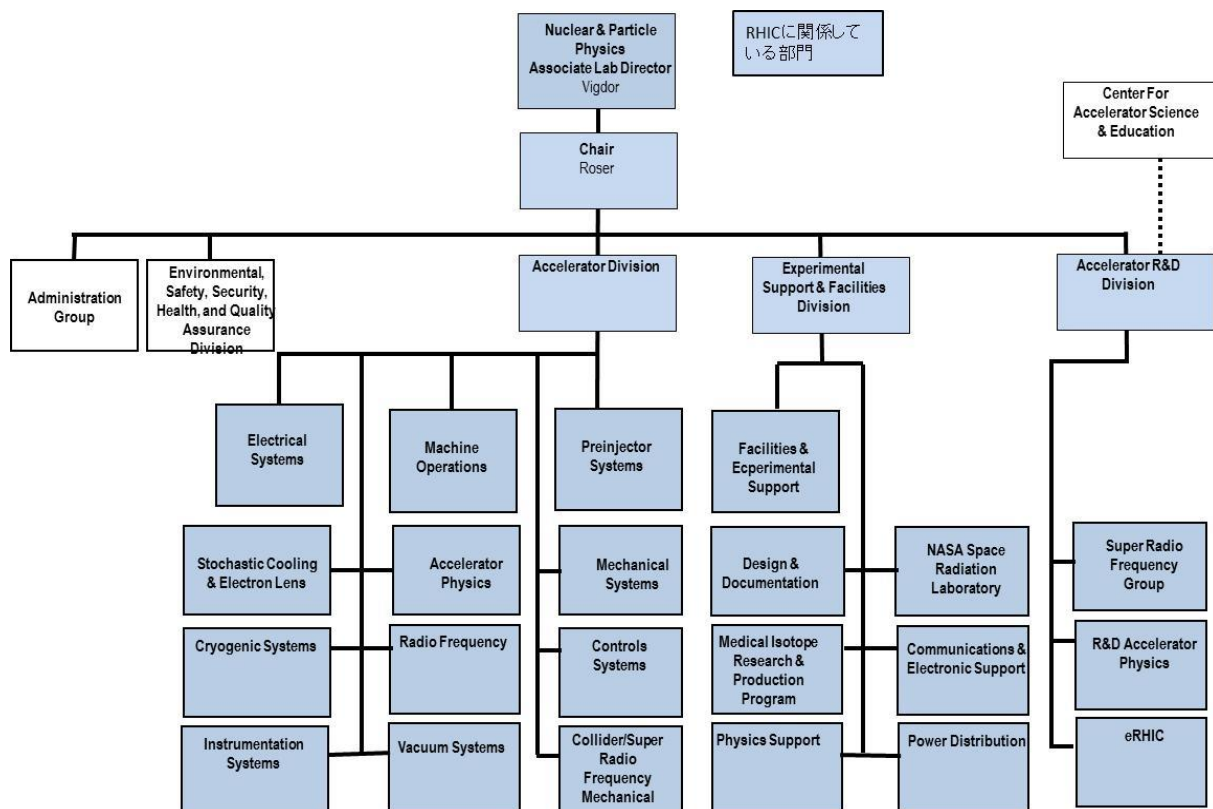


図 3-2 加速器部門の組織図

出典：BNL ホームページより一部筆者加筆³⁴

³⁴ http://www.c-ad.bnl.gov/esfd/OrganizationalChart/CAD_Org_Chart.pdf, 2011 年 4 月 1 日アクセス。

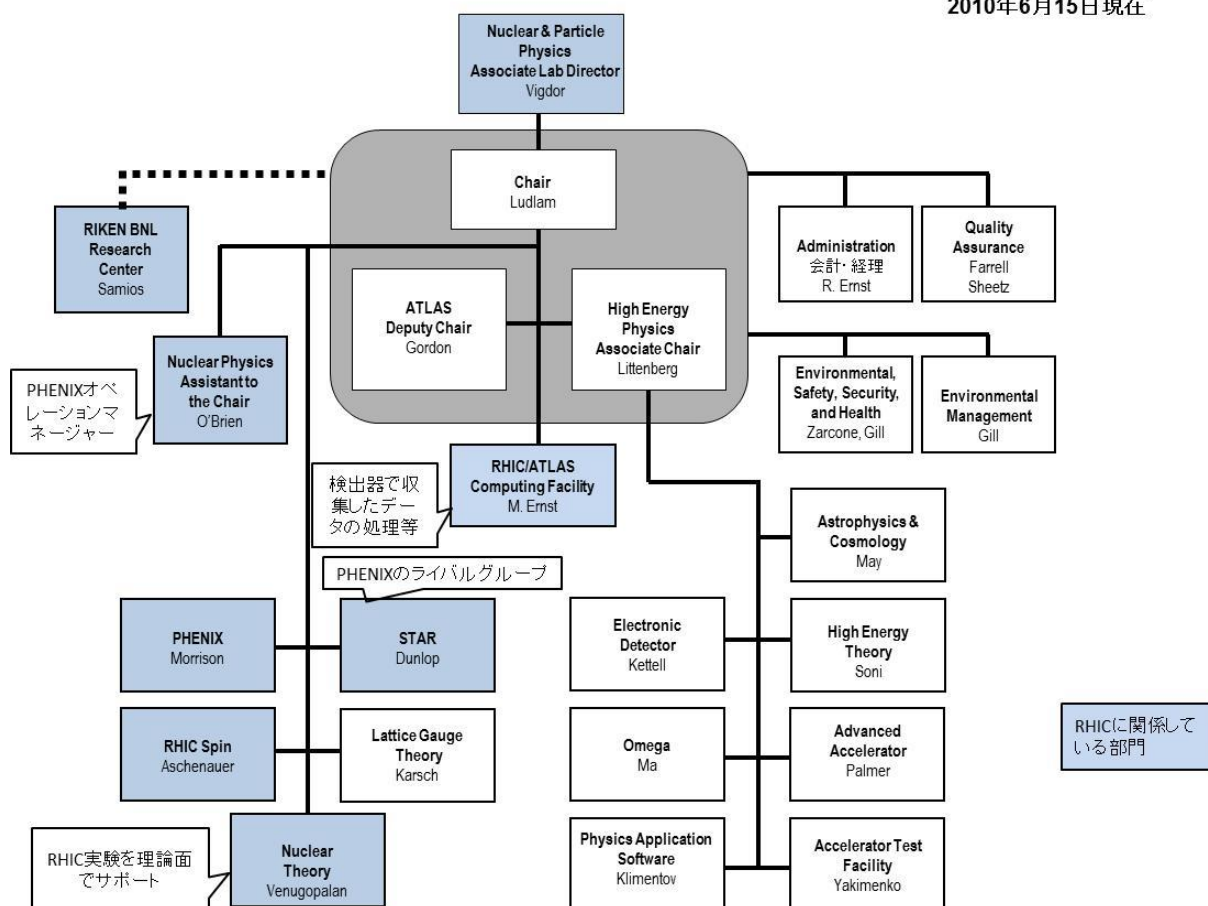


図 3-3 BNL 物理部門の組織図

出典：BNL ホームページより一部筆者加筆³⁵

3.3 理化学研究所と理研 BNL 研究センター

国立研究開発法人理化学研究所（以降、理研と略す）は国立研究開発法人理化学研究所法により科学技術（人文科学のみに係るものを除く）に関する試験及び研究等の業務を総合的に行うことにより、科学技術の水準の向上を図ることを目的とし³⁶、日本で唯一の自然科学の総合研究所として、物理学、工学、化学、生物学、医科学などにおよぶ広い分野で研究を進めている。1917 年に財団法人理化学研究所として創設され、戦後、株式会社「科学研究所」、特殊法人時

³⁵ https://www.bnl.gov/physics/linkable_files/pdf/OrgChart.pdf, 2011 年 4 月 1 日アクセス。

³⁶ 国立研究開発法人理化学研究所法、<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H14/H14H0160.html>, 2015 年 6 月 4 日アクセス。

代を経て、2003 年 10 月に文部科学省所管の独立行政法人理化学研究所として再発足、2015 年 4 月から国立研究開発法人となった。約 3,300 人の職員を抱え、約 4,300 人の客員研究員や研究生などを受け入れており、研究所の規模的には BNL に匹敵するが、研究分野がより多岐に渡る(図 3-4 参照)。

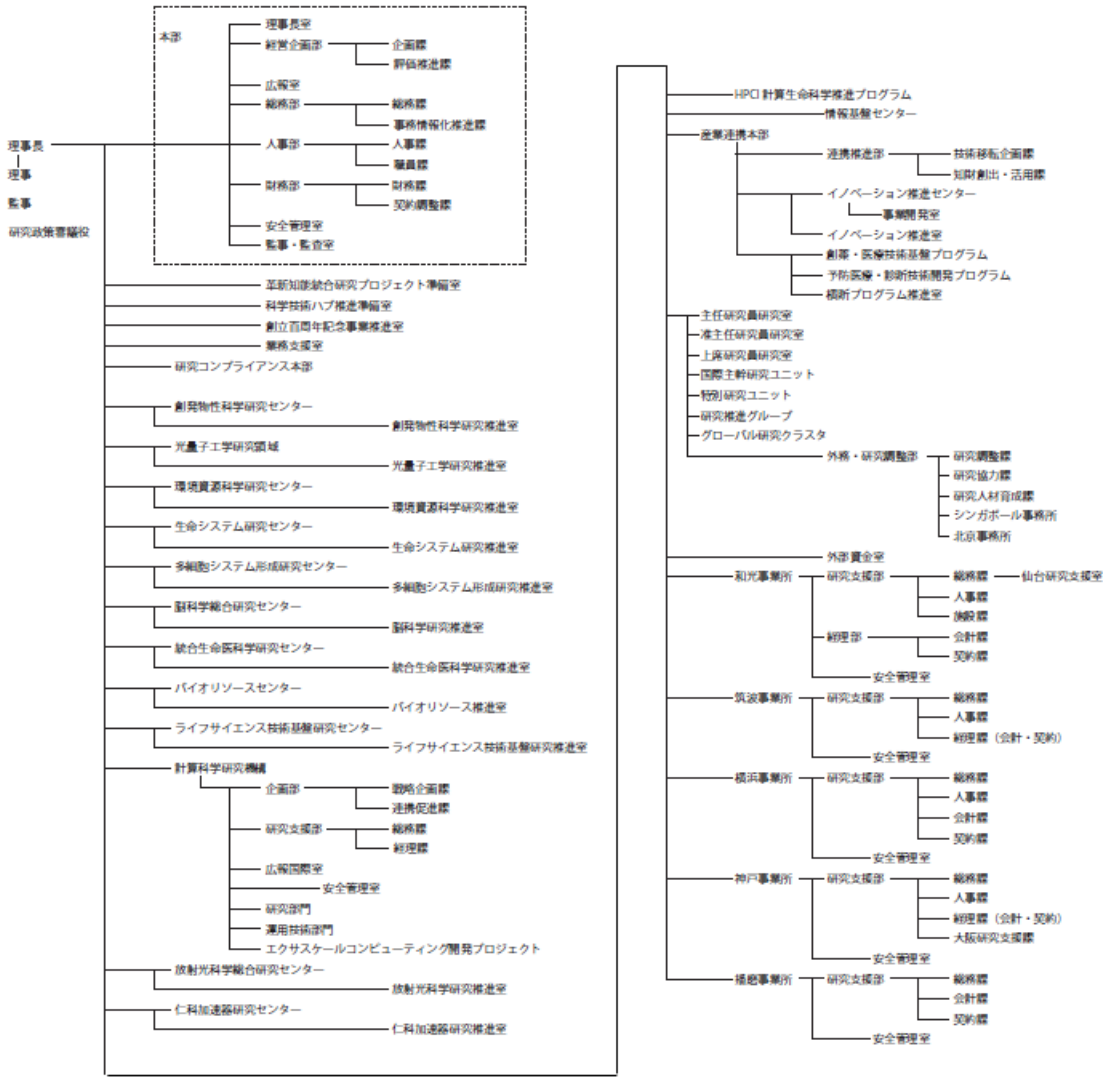


図 3-4 理研組織図

出典：理研ホームページ³⁷

理化学研究所仁科加速器研究センターの理研 BNL 研究センター(図 3-5 参照、

³⁷ <http://www.riken.jp/~media/riken/about/organization/riken-j-20150401.pdf>, 2015 年 4 月 4 日アクセス。

以降 RBRC と略す)・延興放射線研究室が PHENIX グループの主要メンバーとして、重要な役割を果たしてきた。RBRC は、日米科学技術協力協定に基づき BNL に 1997 年 4 月に設立された。BNL 物理部門に居室と実験室を持つ、約 60 人の所帯である。当センターは、新世代の若い物理学者を養成することにより、スピン物理、格子 QCD 及びクォーク・グルーオン・プラズマ物理を含む強い相互作用の研究を行っており、実験研究グループは PHENIX グループのメンバーである。理論研究グループの研究者が PHENIX グループの理論的支持をすることもある。

RBRC の任期制研究者は、公募により選ばれ多国籍である。RHIC フィジックスフェロー制度を設立当初から運用しており、RHIC フィジックスフェロー研究員は RBRC と他の研究機関とのジョイントアポイントメントで、BNL に 1 年のうち半年滞在することを推奨している。Y 氏によると、「RHIC フィジックスフェロー研究員制度は採用から 5 年後に大学側でテニユアトラックに乗せるという約束でスタートした。10 年経ってみると、分野の幅を広げて、ねずみ算式に増えている。しかも関係はフラットである。RBRC 卒業後の行く場所が確保されており、卒業生の業績も良いので、業界内の認知度も上がって、RBRC に皆来たる良い状態になっている」³⁸とのことである。大学のテニユアトラック職または BNL で職を有していることにより、広く知の交流が起きている。

³⁸ Y 氏インタビュー (2011 年 6 月 10 日実施)。

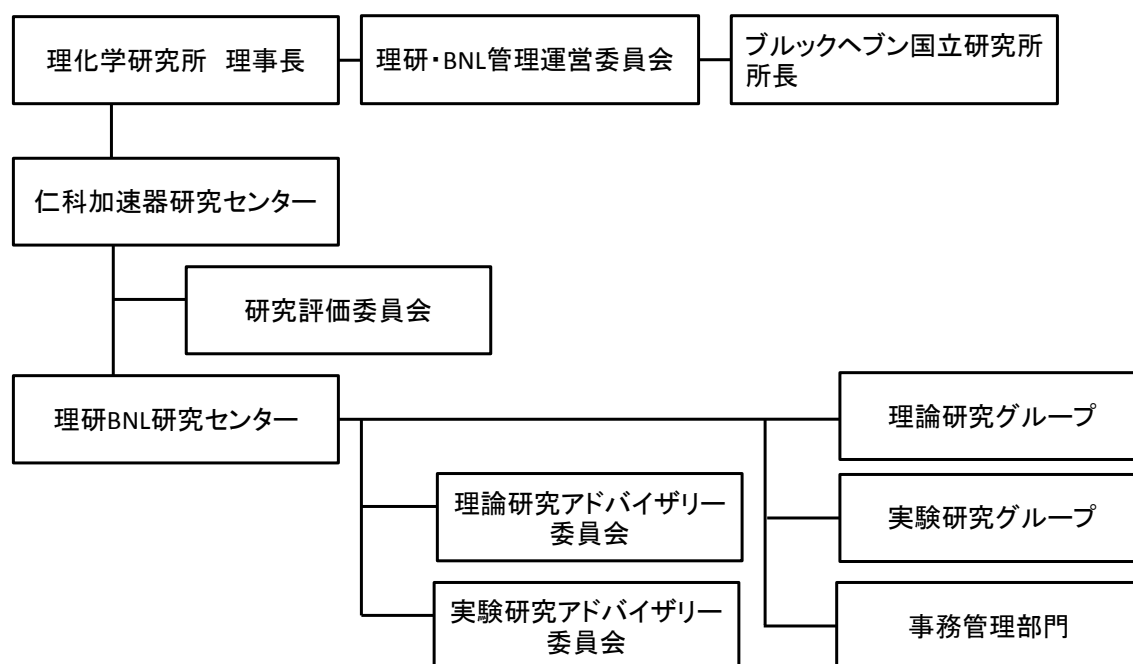


図 3-5 理研 BNL 研究センターの組織図

出典：理化学研究所（2013）を参考に筆者作成

3.4 大型加速器 RHIC の建設経緯と歴史

多数の研究機関からの研究者たちと恒常的な基礎に立って共同使用するの
なければ、「巨大マシン」にかかる金銭上、研究上、管理上の投資を正当化でき
ない（ザイマン，1995）。科学技術の発展は、研究のチームワーク化をもたらし、
高エネルギー物理学では、何百人もの研究者たちがたった一つの実験を行うた
めに何年間も共同作業をしなければならないというのが特徴的で、多くの手と
目と頭脳が一つの大きな課題を成し遂げるのに必要である（ザイマン，1995）。
RHIC 建設にあたってもまずは物理学コミュニティの意思統一から始まった。
PHENIX グループにおける組織マネジメントには、RHIC 建設経緯も大きく影響を
与えており、インタビュー対象の研究者も話はまず RHIC 建設時から始まった。
よってこの節では RHIC の建設経緯と歴史をまとめる（表 3-2 参照）。

1983 年、CERN の粒子加速器で実施された実験は、基礎理論によって既にその
存在が予言されていた W 粒子と Z 粒子を検出するために注意深く計画された（ザ
イマン，2006）ように、莫大な費用と時間がかかる大型加速器は目的・研究計
画を明確にして建設される。1980 年代初めに完成が予定されていた、BNL の加

速器 ISABELLE は、超伝導磁石を使う初の加速器として注目されており、それぞれ 2000 億電子ボルトに加速された陽子同士を衝突させるもので、CERN の粒子加速器と競って W 粒子や Z 粒子をつくり出すことを目指していたが、BNL の物理学者たちはそのために、建設に必要な資金を政府から引き出したり超電導技術を確立したりしなければならなかった（トーブス, 1988）。ISABELLE の建設を開始してから 3-4 年が経過時に、磁石の設計で技術的な問題が発生し、解決するためかなり時間がかかると見込まれたことから電磁石の開発が遅れ、予算がかさんで中止された³⁹。BNL は将来の RHIC 建設を見据えて、AGS⁴⁰での重イオン衝突実験計画の具体化に動き始め、E802 実験にむけての準備も始まった。1983 年に米国核科学諮問委員会 (NUSAC)⁴¹が CEBAF⁴²後の大型計画として、大強度ハドロン加速器ではなくて高エネルギー原子核衝突型加速器に第一優先度を与えたこと、BNL が進めて来た高エネルギー分野の陽子衝突型加速器 ISABELLE が超伝導磁石開発の遅れから中止になったことが背景にある⁴³。

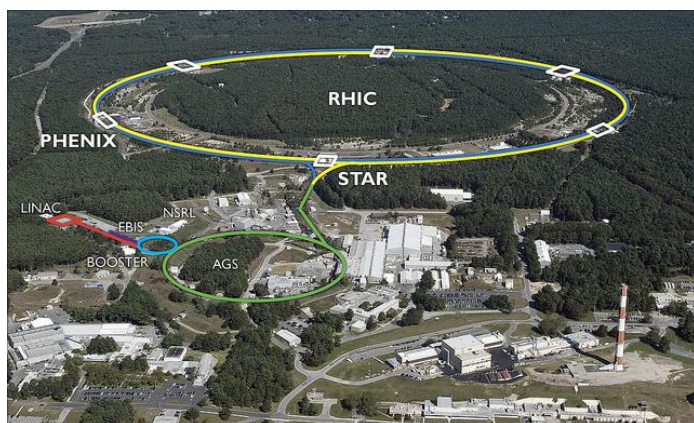


図 3-6 RHIC 全容

出典：BNL

³⁹ S 氏インタビュー（2011 年 4 月 6 日）、ニュートンプレス（2007）『加速器がわかる本』より。

⁴⁰ Alternating Gradient Synchrotron. 1960 年に BNL で稼働を開始した当時最高性能の粒子加速器。これを用いた研究成果に対して、3 つのノーベル賞が与えられた。

⁴¹ Nuclear Science Advisory Committee、以降 NUSAC と略す。DOE とアメリカ国立科学財団（National Science Foundation、以降 NSF と略す）に対して、基礎原子核科学研究についてアドバイスする委員会。

⁴² Continuous Electron Beam Accelerator Facility. バージニア州にあるジェファーソン研究所に設置されている加速器。

⁴³ 浜垣秀樹『高エネルギー重イオン衝突と見果てぬ夢』より

物理学コミュニティ内で次期加速器の計画を議論し、DOE の承認も得て、1990 年から BNL では超高エネルギー重イオン用の衝突型加速器 (RHIC: 図 3-6 参照) の建設を進めた。この加速器は周長 3.8km にも及ぶ超大型の加速器で、世界最高エネルギー (核子当り 200GeV) の重イオン加速を目指しており、2000 年に完成した。このプロジェクトは、超高エネルギー重イオン同士の衝突により、クォークとグルーオンのプラズマ状態 (QGP) を実験室で再現し、初期宇宙の姿を解明しようとするものであった。この計画は、世界の原子核研究者の関心を集め、併せて、最先端実験技術の結集も求められていたことから、広く米国内外の研究者の参画を歓迎した。技術的な面だけではなく、2.4.2 節でまとめた通り、粒子加速器は常に物理学の最先端分野を切り開いてきた歴史があり、この分野の研究が盛んな国や地域にとって、国の力を誇示する道具の役割も果たして来た一方、大型化した加速器の膨大な建設費を一国で負担できなくなり、RHIC に関してもアメリカ一国では予算を負担しきれないため、共同研究相手を探していた。

アメリカが PHENIX 実験の参加について、日本に協力を持ちかけた理由は主に 3 つある。(1) KEK で加速器 TRISTAN の設置にかかわった日本人、尾崎敏氏が BNL のシニア研究者として RHIC 計画の責任者であった。(2) 実験物理学者である日本人、永宮正治氏がコロンビア大学の教授であった。(3) RHIC で行う実験に興味を持った実験物理学者が東大・京大等の大学や理研に多数いた。

永宮教授 (初代 PHENIX グループ代表) の勧誘により、理研は PHENIX グループへ参加することになった。他のメンバーよりも遅れて参加を決めた理研は、RHIC プロジェクトで優先的に推進されつつあった「重イオン物理研究」プログラムとは独立に、新たに「スピン物理研究」を設立し、この新規プログラムを理研が中核となって推進することになった⁴⁴。

⁴⁴理化学研究所史編集委員会 (2005)

表 3-2 RHIC 建設に関する年表

1974 年	ノーベル賞受賞者の集まったワークショップにおいて重イオン衝突による新たな物理実験の提案
1983 年 4 月	ISABELLE/CBA における実験として、重イオンとスピンをアピール (BNL 所長から DOE への文書)
1983 年夏	ISABELLE/CBA の建設中止
1983 年	新たなプロジェクトとして RHIC のフィージビリティスタディを開始、物理学者研究コミュニティと DOE/NSF の同意を獲得
1984・86・87・89 年	素粒子物理学系の学会 (クォーク・マター) で議論
1984-1988 年	毎年 1 回 RHIC ワークショップを開催
1985-1995 年	RHIC ポリシー委員会を開催
1986 年	全米研究委員会レポート ⁴⁵ ・NUSAC の同意を得る
1989 年	NUSAC により、優先プロジェクトとして認定
1987 年	BNL が 1989 年にプロジェクト開始を提案、DOE によって却下
1988 年	BNL が 1990 年にプロジェクト開始を提案、DOE は同意、行政管理予算局 ⁴⁶ によって却下
1989 年	NUSAC が再度 RHIC を優先プロジェクトとして強調、BNL・DOE・OMB の同意を得る
1990 年	議会予算に 1991 年からの RHIC 建設費を計上
1991 年	RHIC の詳細設計と建設を開始
1992 年	理研延與主任研究員らが陽子スピンの謎を解くための実験提案書を BNL に提出
1993 年	延與主任研究員らの実験提案書が採択
1995 年	BNL-理研スピン物理研究プログラムの協定書締結 理研と BNL の国際協力により、サイベリアン・スネーク電磁石や、大型検出器 (PHENIX) などを RHIC 内に建設する作業開始
1997 年	理研 BNL 研究センターの設立
1999 年	RHIC 完成
2000 年	RHIC 運転・PHENIX 実験開始

出典：Samios (2010) と理化学研究所史編集委員会 (2005) を参考に筆者が作成⁴⁷

⁴⁵ National Research Council Report

⁴⁶ Office of Management and Budget、以降 OMB と略す。

⁴⁷ 2010 年 6 月 10 日に BNL で行われたシンポジウム “Celebration of 90/50/10” における S 氏の発表資料と理化学研究所史編集委員会 (2005) から筆者が作成。

https://www.bnl.gov/rhic_aggs/users_meeting/Past_Meetings/2010/agenda/plenary1_thurs.asp、2015 年 12 月 8 日アクセス。

「加速器のような大規模実験施設を利用しようと思う研究者は、自分の研究プロジェクトがいかに十分な成果を上げ得るか、ということについて、説得的かつ自己宣伝的な説明書類を、その施設の運営に携わるグループに提出しなければならない、というような義務は、すでに負ってきた(1994、p.163)。」と村上(1994)が言うように、RHIC においても全世界から実験提案を受け付け、9 つ提案が出された。

RHIC メインリングには6ヶ所の衝突点があり、現在は4ヶ所に検出器(PHENIX・STAR・PHOBOS・BRAHMS)を設置している。検出器毎に研究グループが存在しており、それぞれの検出器の特徴に適した実験を行っている。S氏によると、「RHICの衝突点は、科学的な意味づけから6ヶ所を想定していたが、予算と研究提案書の質から判断して、2つの大きな検出器と2つの小さな検出器を採択した(図3-7 参照)。4グループは、似たようなゴールを目指して異なる方法で取り掛かっている。PHOBOSとBRAHMSは、解析が徐々に複雑になり、簡素な検出器では対応できなくなったため、プロジェクトを終了した。STARとPHENIXは非常に似ているが、友好的な競争関係を築いている。片方が成果を発表すれば、もう片方がすぐにその成果の正否を判定できるメリット、お互いが切磋琢磨して賢明に働くメリットがある」⁴⁸とのことである。A氏も、「大きな装置が二つないと、嘘を言う可能性がある。大きな実験として2つはいるというのが、当時の認識なんですね。業界の常識に近いです」⁴⁹と述べている。このように、実験内容の特徴と役割を整理し、予算・提出された提案書の質・競争原理の導入を考慮した結果、4つの研究グループが確定された。なお、RHICの実験選定委員会により、STARグループは2つの提案を合体し、PHENIXグループは4つの提案を合体した上で、実験計画を承認された。

RHICの場合、クォーク・グルーオン・プラズマについていうと、そういったことができるだろうというのは間違いないだろうと、皆信じているわけですね。【中略】だけれども本当にできるかどうか、実はその時点ではよく分かってない。さらに分からないのは何を見たらできたと分かるか、誰

⁴⁸ S氏インタビューより(2011年4月6日)

⁴⁹ A氏インタビューより(2014年8月29日)

にも分からない。誰も分からない段階であったにもかかわらず、きっと作ればできるに違いないから実験を始めて、ともかく見てみて、発見しようということで進んだわけですね。そういう意味では相当ギャンブル性の高いことをやっているわけ。**【中略】**大きな実験装置も、どうするのが一番良いか分からないので、STAR と PHENIX は全然違う作りになっている。**【中略】**全く違う装置を 1 つずつ作ったという意味で、RHIC のアプローチはかなりユニーク⁵⁰。

(A 氏インタビュー：2014 年 8 月 29 日)

このように、STAR グループと PHENIX グループは似たような物理学のゴールを目指し、それぞれ独立に組織・実験グループを作り、検出器を製作した。

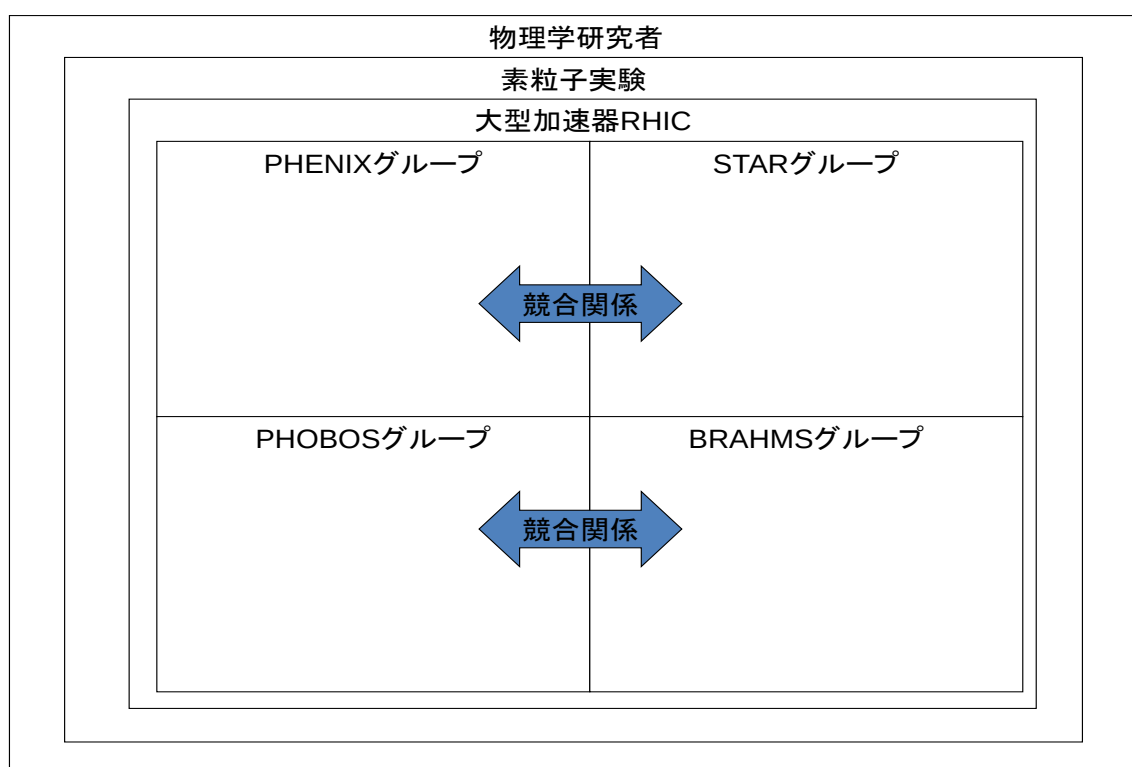


図 3-7 物理学における PHENIX グループの位置づけ

出典：複数のインタビューにより筆者作成

⁵⁰ たとえば CERN における W 粒子や Z 粒子の発見は、ルビア博士の主導で行われた。また CERN におけるヒッグス粒子の発見は、建設時に測定すべき内容が分かっていたように、通常加速器建設時にどの粒子をどのように測定するか予測されていることが多い。

ギボンズ(1997)は、「コラボレーションはいずれ競争に転化するのだから、政府もうまく立ち回る必要がある。このことは、現在もそうであるように、富の創造過程の本質である (1997, p. 46)」と述べているが、この4つの研究グループは、協働し競争し、新たな物理的知識を創造している。RHIC 加速器と検出器の建設には、既存の技術だけでは成し遂げられず、様々な新しいアイデアが取り入れられて建設されたのである。

3.5 PHENIX グループを取り巻く競争

前節でまとめた通り、RHIC 加速器と PHENIX 検出器(図 3-8 参照)は、他の実験グループとの競争を見込んで、設計・建設へと進んでいった。2000 年から実験を開始し、競争の舞台は研究論文に具現化されている。

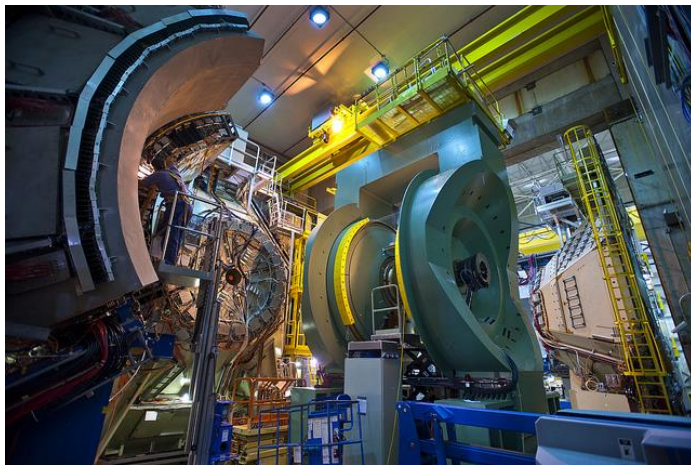


図 3-8 PHENIX 全容

出典：BNL 提供

論文を発表することで、科学の先取権を獲得するが (プライス, 1970)、論文発表に到達するまでに、いくつかの競争が起こっている。PHENIX グループに関わりのある競争は、様々な単位で発生している。加速器でのレベルだと、例えば RHIC と LHC が挙げられる。実験グループのレベルだと、STAR グループや LHC の ATLAS グループが競争相手である。PHENIX グループ内のレベルでは、研究機

関間、論文執筆チーム間、メンバー間で、多かれ少なかれ発生している。

また、PHENIX グループ内の博士課程の学生や若手研究員の中では、実際にライバル意識を表した発言を筆者は耳にしたことがある。加速器の運転スケジュール、PHENIX グループの実験スケジュールに大きく縛られるため、博士論文を仕上げるまでに時間がかかることが多く、日本人の学生の場合博士課程 3 年間で取得できる確率は高くない。一人の力では実験ができないので、協力することが必須であるが、論文を書く段階では競争がある。また、いかに定年制の職に就くかが、若手の短期的な目標になるため、同じポジションに PHENIX グループから複数人応募することもあったと聞いている⁵¹。

相互に関連している 4 種類のレイヤーを図 3-9 に描き出し、PHENIX グループの競争状況を明示した。PHENIX グループにとっての価値を提供する顧客は、同じ分野の研究者や社会、政府である。供給者は、まず PHENIX グループの構成員、論文として知識を広めることから出版社や電子情報サービスプロバイダーである。競争相手は、他グループ、研究者、他分野である。最後に補完的生産者は他グループ、学生、企業、地域住民である。ブランデンバーガー & ネイルバフ（2003, p. 50）は顧客と供給者は対照的な役割を演じ、競争相手と補完的生産者とは、表裏の関係にあるというが、研究者は 4 種類のレイヤーを渡り歩くことも考えられるため、PHENIX グループの置かれている環境を検討する際には、競争だけではなく協調も重要である。

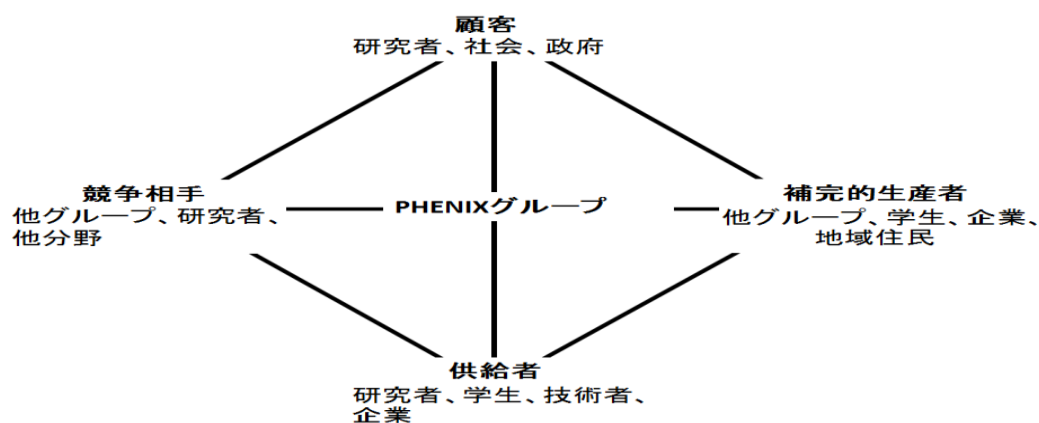


図 3-9 PHENIX グループにおける価値相関図

出典：ブランデンバーガー & ネイルバフ（2003, p. 51）を元に筆者作成

⁵¹ PHENIX グループメンバーの打合せやインフォーマルな会話で、複数回述べられていたのを、参与観察時に聞いた。

3.5.1 加速器間の競争

PHENIX グループにおいても、他の実験グループと競って優秀な人材を引き付けることが重要である。実際上の問題として、ラン（加速器 RHIC の運転中における PHENIX グループの実験期間：検出器運転・実験・データ収集を実施）が始まると、シフト（検出器運転・実験実施の監視当番、1 日 3 交代制、3.8.2 節で詳述）・ブロックが設定される。例えば約半年間（26 週間）検出器を運転する場合、26 週間×3 交代×5 人=400 人のシフトが必要で、PHENIX グループのメンバー数とほぼ同じである。このように、実験を成立させるためには、ある程度のメンバーを常時維持する必要がある。

その際、PHENIX グループの優位性も重要であるが、加速器 RHIC 自体の優位性も人材を集めるためには重要である。LHC での実験が順調に行われるようになってきたため、学生が RHIC ではなく LHC に行く動きもある。学生が研究場所を選ぶ際に、RHIC と LHC が同じ俎上に載せられるのである。LHC では重イオンはごく短期間しか走らないことが、非常に大きな違いであり、RHIC や PHENIX グループの優位性を A 氏は以下の通り強調していた。

RHIC も PHENIX と STAR を合わせて 1,000 人のユーザーが来ているということを（レビューで）言う。【中略】その数を DOE の原子核物理のオフィスはもらって、その数を見せて隣の基礎エネルギー科学とか高エネルギーと競争している。【中略】LHC について言えば、重イオンはごくわずかな期間しか走らない。【中略】RHIC のメインである、QGP についていえば RHIC でも十分できているのだから、デディケートした時間があるというのは、意味がある。あとは偏極陽子については、LHC でできるわけではないので、それも一つのあれ（長所）である。【中略】引用トップリストで、原子核物理の Top20 のうち、半分以上が（PHENIX グループが）関係ある。

（A 氏インタビュー：2011 年 4 月 29 日）

物理学の他分野とも予算獲得の競争をしている状況と、LHC とも物理の成果で競争をしている状況が、明示されている。しかしながら、RHIC の主要テーマである重イオン物理の研究では LHC がライバルでもあるが、協働相手の一面もあ

る。LHC はエネルギーを下げられる幅が RHIC よりも狭く、高エネルギーまたは高温で実験ができるのは RHIC よりも LHC である。エネルギーの低い実験は RHIC でなければできないという加速器の特徴がある。よって、実験に用いるエネルギーの差によって、LHC と RHIC の役割分担・協働を行っている。

3.5.2 PHENIX と STAR の競争

大型加速器における実験の場合、複数個所に検出器を設置して、その検出器を使うグループ毎に研究を進めることが通例となっている。井山・金森(2000, p. 73) が、「科学者集団は一度の実験だけで新事実を認めるようなことをせず、発見者の実験と比べると地味な仕事であるが、確認作業を行うことで科学知識の信頼性を確保している」と述べているように、科学においては再現性が重要である。建設時点で他に類のない装置を作るので、同じ加速器を使う仲間であっても、別々の検出器で実験データを収集し、再現性を確保すると共に競争相手となる⁵²。

RHIC においても、当初から大型検出器を使った実験グループの PHENIX と STAR を作り、競争させることでより良い物理の成果を生み出すようにマネジメントされていたことを、複数のインタビューで確認した。なお、RHIC における小型実験も 2 グループ存在した。「同じ加速器を使う研究者仲間であり、加速器運転については協力するが、PHENIX と STAR のそれぞれのメンバーはお互いを敵と思っているだろうし、相手がいいものを出すとやっぱり悔しいと思う」と、ある研究者はインタビューに答えた⁵³。

⁵² 「LHC の ATLAS グループは、伝統的なプロジェクトマネジメントの線形な進め方ではなく、初期の段階では非公式なプロジェクトリーダーによって、曖昧な組織のまま自発的な集団として進められた。他方、CMS グループでは、中央集権型のマネジメントを実践している。建設の初期段階では、CMS グループの方が ATLAS グループよりも摩擦や冗長性が少なかったため効率が良かったが、建設の最終段階では分散組織の多様性が活かせないため、技術的な困難と限界に直面した時 CMS グループの方が苦勞するだろう」と、二つの研究グループの特徴について Tuertscher(2008) が述べている。このように、大型物理学実験のグループは、同じ加速器を使う仲間であっても、それぞれ特徴のある独立した組織を作り、別々の検出器で実験データを収集し、良い研究成果を競う競争相手となっている。

別の事例ではあるが、フェルミ国立研究所の衝突型粒子加速器でも、CDF と DZero という 2 つの検出器が設置されていた。フォルジャーが実施したインタビューにおいて、CDF のリーダーは DZero について以下のように答えている。「温かな友情で結ばれ、親しく話もするが、常に競争相手だった。しかし、『敵』は DZero ではなく、LHC になった。LHC には負けたくないし、LHC が DZero を負かすのも嫌だ。他人が弟 (DZero) を殴るのは許さない、弟を殴っていいのは兄である自分だけ、という気持ち (フォルジャー, 2011)」。

⁵³ A 氏インタビュー (2011 年 5 月 3 日)。

PHENIX と STAR の二つ両方のグループに参加するのは、どちらも真面目にやらないかもしれない、利益相反が起こる、情報を漏らすという問題があるため、許されていない。競争関係にあるので、原則 PHENIX の内部だけで、まだ議論中の結果を STAR の前で話してはいけないし、協力関係ではない。ただ、研究者仲間なので、意図的ではなくても、情報は流れると複数の人から聞いた。両方のグループに BNL の職員が含まれているが、BNL の中であっても競争相手である。

他方、RHIC 加速器を運転するためには、競争相手である PHENIX グループと STAR グループは協力して運転計画を練る。「PHENIX が倒れると STAR もやっていけなくなるので、競争相手ではあるものの共存共栄が必須である」と、STAR の中堅研究者は語っていた⁵⁴。しかし、検出器運転によってデータを得た以降は、競争になるためお互いの状況はグループ内のみ公開される。論文発表の準備ができた段階になって、相手の動向を確かめるために、親しい研究者同士が非公式に情報のやり取りをすることがある。

PHENIX の論文は非常に緻密な一方発表のタイミングが遅い、STAR の論文は発表が早い割に分析が雑な面があると言った印象を、複数のインタビューで聞いた⁵⁵。PHENIX のメンバーは自グループの特徴をよく自覚しており、PHENIX グループの論文生産システム（詳細は 3.8 節参照）が保証する緻密な分析を誇っているという印象を筆者は持っている。

3.5.3 PHENIX グループ内での競争

単一の実験グループ内でも競争は起こっている⁵⁶。CERN においては、強力な指

⁵⁴ Q 氏インタビュー（2011 年 5 月 20 日）。

⁵⁵ O 氏（2011 年 5 月 12 日）、A 氏（2014 年 8 月 29 日）インタビューをはじめ、インフォーマルな会話でも複数回聞いた。

⁵⁶ CERN の実験グループにおいても競争が観察されている。「CERN に行ってみれば、多数の大学からやってきた何百人もの正教授・講師・大学院生が単一の巨大な実験の計画と実行のためにすべての科学的精力を注いでいるのを目にするだろう。儀礼的にはそのような事業は「協働」とよばれるが、それに参画した大多数のものは一通常、非常に強力な指導者に支配された一チームの集合的権威に個人的な科学的自主性を譲り渡している。これは、彼らに技術的能力を示すすぐれた機会を与えるであろう。ある個人はチームの内部においてソフトウェア設計、エレクトロニクス工学、データ解析のような精巧な技術の点で鬼才として高く評価されるであろう。しかし、そのような局所的名声は公表された研究の説明を通じて一般的なアカデミック市場へと広まっていわけではない（ザイマン、1995、p. 250）」。

CERN の UA1 実験では、「実験が始まり、装置類もほとんど完成してからやってきた学位取得直後の研究員や大学院生、それに客員の研究者たちは、検出器の建設にそれほど関わっていないので、あまり重要な責任は与えられていない。加速器の運転の度にやってきてはすぐに帰るので、顔もなかなか覚えてもらえない。大抵は補助的な、あるいは誰でもできるような仕事をしている。

導者に支配される中、研究者が「協働」しつつも、技術的な能力を示す機会を競っている（ザイマン，1955；トーブス，1988）。

PHENIX グループ内で起きている競争は、特にデータ解析からプレリミナリー（予備的承認）取得の段階までで起きる。物理解析グループ（Physics Working Group、以降 PWG と略す）でデータ解析の精確さを競って、予備的承認審査に至るまでについての状況を、インタビューの該当箇所から示す。

中身がしっかりすれば、負けないんだけど。やっぱりみんな中身もあれっていうときがあるからさ。そうすると英語も分かんなくて、中身がしっかりしてないと負けるんですよね。言われたことを、自分が認識してないようではダメなので。まあここで皆さん鍛えられますよね。

競争

（Y 氏インタビュー：2015 年 4 月 1 日）

日本人の場合は、母国語が英語でないというハンディを背負いつつ、物理の中身で正々堂々と競争に打ち勝てる力がなければ、プレリミナリーを取得できないと Y 氏は述べた。

（PWG の場で誰かが）学生を攻撃するっていうのは基本的にその先生がやっていることを攻撃しているわけだから。普通かばうわけね、自分の所の学生を。かばわないとかわいそうだからね。【中略】学会発表は戦いだから、ここはね、プレリミナリーって。その人の発表会ではないので。ちゃんと答えるように頑張りますよね。

競争

（X 氏インタビュー：2015 年 4 月 2 日）

ルビアの弟子の連中は少人数だがグループの核になっている若い物理学者たちの集団で、ルビアと密着しながら仕事をしている。彼らは最も重要な物理的な解析の仕事を自ら担当したり、命じられたりしている。その誰もが優れた才能を持っており、また野心もある。一応は、解析の分野の仕事につきたい人は誰でも、この活発なチームの一員に加わることはできる。あるいは、個人でやれる仕事がしたければ、UA1 の数千に及ぶテープが入れてあるテープをチェックして、自分の興味あるデータを選び出すプログラムを書くこともできる（トーブス，1988，p.199）。」

X氏は、発表時間が限定され大枠の質問しかされない国際学会よりも、詳細にまで質問が及ぶプレリミナリーの審査の厳しさについて語った。PWGやプレリミナリー取得の場において、PHENIXグループ全体に公開された状態で、個人の意思にもとづいて、個人としての報奨を目指して研究成果を競っているのである。競争が激しく繰り広げられると、テーマの異なるデータ解析を進めているPHENIXグループメンバーにも噂のような形で伝わるようである。PWGの場で繰り広げられた競争の具体例を、複数のインタビューやインフォーマルな会話で聞いた。

3.8節で詳しく記述するが、PHENIXグループでは検出器の製作・アップグレード、検出器の運転・各サブシステムからのデータ収集、実験データ生成、データ解析、データ解析結果承認、論文執筆、論文発表承認の段階を経て論文を発表する。この全てのプロセスに、PHENIXメンバーならば誰でも参加でき、グループ内にデータ等は全て公開されている。メンバーの義務は、RHIC運転中（ラン）に年1回1週間のシフトを取ることだが、シフトを取るとその年のランで収集したデータによって産み出される論文の著者に自動的になる。ただ、ここで他の科学研究の慣例とやや異なるのは、論文著者の掲載順はアルファベット順のため、貢献度は外部からは判断することができない、ということである。内部では、検出器等のサブシステムの製作やアップグレードの作業、サブシステム専門家としてランの間に検出器運転を実施し、取得データのコンピュータ解析実施等の追加の作業を行うことで、PHENIXグループへの貢献が認められる。また、PHENIXグループの内部ウェブサイトでは、論文毎に誰が関わったかが明示してある。ただし、PHENIXグループの実験結果を学会発表する時と次のポジションへ応募する際の推薦状においてのみ、個人の貢献度がPHENIXグループ外に明示されることになっている。

グループ内では、所属機関の予算負担やグループ在籍年数等には全く関係なく、あくまでも物理研究の内実での勝負なのである、つまり、PHENIX内での自由競争だとメンバーが納得できるように、執行部は気を遣っている、とインタビューでは語られていた。グループ内の誰にでも良い研究成果を出せるチャンスがあるとなれば、多くの研究者が集まり、良い競争が生まれ、良い研究成果に繋がると言う。ただシフトを取るだけ、1週間の検出器運転当番をするだけで他の作業をしないメンバーを追放はしないが、メンバーはシフト当番以外に

も自発的に働いてくれることを期待されている。

このように実験を成立させるための協調体制がある一方で、同じ加速器を使う研究グループ間（PHENIX グループ対 STAR グループ）と PHENIX グループ内研究者間の二重の競争が存在している。

なお、PHENIX グループ内では物理の興味に従って、重イオン組とスピン組に分かれている。RHIC は、クォーク・グルーオン・プラズマの境目を探るためにエネルギーを下げてきている。重イオン組は、エネルギーを下げた実験をしたい一方、スピン組は偏極陽子の高エネルギーをやりたいという希望があるが、限られた実験期間の配分で競争がある。重イオン組の人数が多いので、スピン組は若干立場が弱い。

STAR グループにおいても重イオン組とスピン組に分かれていてスピン組が少数派なので、情報交換や RHIC に対する色々な要望をまとめることなどを目的に、グループの枠組みを越えて情報共有などの協力をスピン組同士で行っている。

3.6 PHENIX グループの研究目的

PHENIX グループは、予算額が莫大で大きな研究施設と機械、そして複数の研究組織を巻き込んだ大規模科学プロジェクトであり、「ビッグ・サイエンス」として分散型問題解決ネットワークの一例である。PHENIX グループは、高エネルギー物理学のプロジェクトとして典型的な例と言える。このようなビッグ・サイエンスは、基礎物理学、宇宙物理学、生命科学の大型プロジェクトでも見られる。

加速器実験において、検出器は正面衝突が起こる衝突点を取り囲むように設置される。純数学的に言えば、検出器は球形をしていて、粒子ビームを運ぶ真空パイプのところに穴が開いているようなものと言えるだろう。実際には検出器の形は、加速器の形や、衝突によって引き起こされる放射の量などによって決められる（レーダーマン & シュラム, 1993, p. 202）が、PHENIX 検出器は検出粒子を識別する技術的な制約と実験経費の問題から全立体角を覆っていない（藤原, 2007）（図 3-8 参照）。

PHENIX 検出器は、RHIC に建設された 4 つの検出器のうち、STAR と並んで複雑で大きい検出器である。PHENIX は、衝突点の周りに、磁極半径約 2 メートルの

中央電磁石が置かれ、ビーム軸を対象軸とする軸性磁場を生み出す。約 10 の検出器サブシステムからなっており、1999 年に完成した（秋葉, 2000）。この検出器では、原子核同士の衝突によって発生する信号のスペクトルを検出し、ハドロン、レプトン、フォトン測定することで、クォーク・グルーオン・プラズマ実現の証拠の候補を出来るだけ網羅的に捉えることを念頭にデザインされた。レプトン、フォトン測定できる装置は、加速器 RHIC を用いた実験の中では、PHENIX 検出器のみであり、PHENIX グループの特徴である⁵⁷。クーン(1971)が、「実験観測は、パラダイム理論を磨き上げるために行われる経験的工作からなり、パラダイムにまつわる多少の不明確さを解決し、前には注意されるにとどまっていた問題にも解答を下すようなものであるから、より精度の高い実験データを収集して、新たな知見を得ることが目標である(1971, p. 31)」と述べているように、PHENIX グループでは実験を繰り返し、検出器の製作・アップグレードを行い、より精度の高いデータを収集して新たな物理現象を見出すことに努めている。

3.7 PHENIX グループの運営組織体制

1960 年以降、加速器の大型化と共に加速器実験物理研究グループも徐々に進化を遂げてきた。少人数のグループの時とは異なり、大人数化するに従って、実験物理学者は独自の組織マネジメント体制を構築するようになる。100 人以上の規模になってくると、1 人のリーダーシップだけでは実験グループを運営することができないと、複数のインタビューで指摘された。特に、シニア研究者は実験グループ規模の拡大を体験している人が多く、他の実験グループでも運営組織体制を整えて、実験グループをまとめている体験を聞くことができた。PHENIX グループ立ち上げ時は、ルールの策定について激しい議論もあったとのことである。

マネージメント力・リーダーシップは重要でなく、マネジャーは全員プレーイングマネジャーであり、目利きと言える。ただ実際に自分で物理の解析をするシニア研究者はそこまで多くない。ノーベル賞を一研究機関または一カ国で

⁵⁷ 高エネルギー加速器研究機構プレスリリース付属資料 3

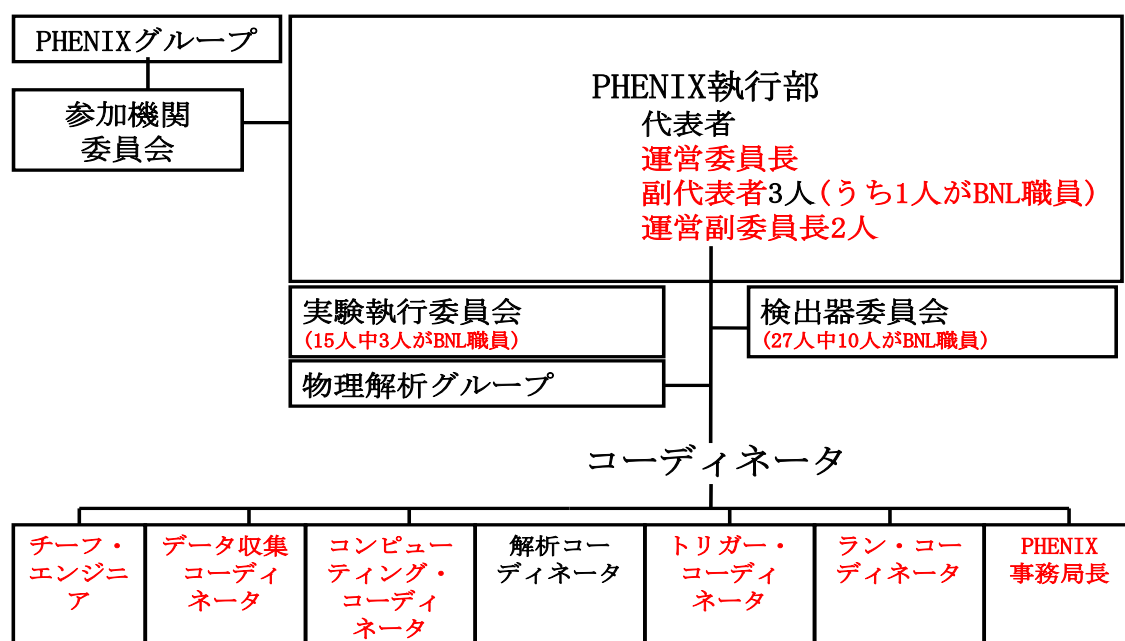
<http://www2.kek.jp/ja/news/press/2003/image/j-usbn101.pdf>, 2015 年 12 月 30 日アクセス。

狙いに行きたいのは山々だが、実験の規模が大きくなりすぎたため、国際共同研究をせざるを得ない状況である。

このような背景において、PHENIX グループも独自の運営組織体制を構築してきた。ワードファイル 5 ページからなる文書で、役職・委員会の役割を規定している⁵⁸。

3.7.1 PHENIX グループの組織

PHENIX グループの実験提案時に組織図を提出した際、組織図の体をなしていなかったと実験選定委員会の委員から聞いた⁵⁹。実験選定委員会から改善を求められた PHENIX グループの初代代表者は、フェルミ国立研究所等他の加速器グループを参考に、組織マネジメントの体制を確立したとのことである。



※赤字はBNL職員

図 3-10 PHENIX グループの組織詳細図

出典：PHENIX グループ提供資料を筆者が一部加筆修正

⁵⁸ Bylaws of the PHENIX Collaboration,
<https://www.phenix.bnl.gov/phenix/WWW/docs/bylaws/current/bylaws.htm>, 2014 年 8 月 5 日
アクセス。

⁵⁹ O 氏インタビューより（2011 年 5 月 12 日実施）。

PHENIX グループは、参加機関委員会・執行部・実験執行委員会・検出器委員会・物理解析グループ(図 3-10 参照)を設けている。参加大学・研究機関の代表者各 1 名によって構成される参加機関委員会は、グループ代表者と執行部の選出、PHENIX ルールの変更・新規加入者の審査等、グループ全体に関わる事項を取り扱う⁶⁰。参加機関委員会の場合には、各機関代表者以外でも PHENIX グループメンバーならば参加でき、発言も可能であるが、投票権は各機関 1 票である。また、ウェブサイト管理等事務を担当している PHENIX グループ事務局も存在する。

グループ代表者は 3 年任期である。実験執行委員会のうち 2 名は毎年参加機関委員会によって選挙で選ばれる。グループ代表と副代表はプロジェクトマネジメントや広報活動を担当する。

実験執行委員会は、実験全体の方針を決定する。PHENIX グループ執行部 7 名と他 8 名からなる。執行部・実験執行委員会のメンバーは BNL 職員である必要はないが、BNL の予算管理だけは BNL 職員が担当することに決まっている⁶¹。

物理解析グループは、物理のテーマによって分けられており、現在 3 グループ存在する。グループ全体の組織運営とは切り離され、PHENIX グループとして物理の研究を進める重要な機能を担っている⁶²。幹事は任期が 2 年で、中堅研究者から執行部が各グループにつき 2-3 名選ぶ。

検出器委員会は、各主要検出器に 1 名コーディネータを任命する。運営ディレクターや検出器の技術的な支援を行う検出器委員会の幹事は、BNL の職員が担当している。これら委員の構成からも、どこか一機関がグループにおいて突出した役割を担っておらず、民主的に運営されるようバランスが取られている。ただし、個人のメンバーが公式に意見を言う場は設けられていない。

同じ RHIC を使って実験している PHENIX グループと STAR グループのマネジメント体制を比較した(表 3-3 参照)。PHENIX の方が STAR よりも、1 機関当たりのメンバー数が少なく、選挙によってメンバーが決まる運営委員会を設置しているなど、より民主的なマネジメント体制を目指していることが読み取れる。

⁶⁰ RHIC 加速器での PHENIX 実験

<https://www.phenix.bnl.gov/WWW/publish/akiba/PR/PRbook.ppt>、2016 年 1 月 5 日アクセス。

⁶¹ T 氏インタビューより (2011 年 5 月 16 日実施)。

⁶² P 氏インタビューより (2011 年 5 月 18 日実施)。

表 3-3 PHENIX グループと STAR グループの体制比較

	PHENIX	STAR
成り立ち	4 つの提案を統合	2 つの提案を統合
中心機関	特になし	BNL、UCB
構成	約 500 人、75 機関、14 か国	597 人、57 機関、12 か国
加入条件	運営委員会の推薦に基づく参加機関委員会の承認	代表者の推薦に基づく参加機関委員会の承認
脱退勧告	記述なし	参加機関委員会の要望に基づき代表者が実施
運営委員会	参加機関委員会によって選出	なし
代表者	参加機関委員会によって選出	参加機関委員会によって選出
両グループ所属経験のある研究者の考察	議院内閣制、風	皇帝と元老院、風

出典：各グループサイトと STAR(2016)、PHENIX(2013)、金田(2003)より

筆者が作成

この業界の特徴として、オープン・フラット・民主主義・抜け駆けなし、一人勝ちなしの考え方がある。技術の行き詰まり感がある業界であり、大型加速器の検出器建設費が数百億円、毎年の維持費が数十億円もかかる、まさにビッグ・サイエンスである。また科学としては、ほぼ要素（素粒子レベル）を掘りつくした、競争しつくした感がある。要素がどのように出来上がったかを、研究しているステージであり、生命科学などとは全く異なる状況である。その上で、分野毎の専門性が向上しており、それに伴って装置も複雑化している。

加速器自体は DOE の予算で BNL に建設し、検出器の開発費は各国各機関から持ち寄りである。お互いが必要不可欠で、Win-Win 関係が成立している。「国際競争と機関競争の場を実験チーム内に移しただけのこと。組織間の競争から個人間の競争へ移行、組織の縛りから脱却、知識は共有である。アイディア・技

術・人力・財力の総合力勝負で、目標は一致している。(バイブルは一つ)」と一人のシニア研究者⁶³は語ったが、科学的真理の探求という目標は一致しているため、多国籍の研究者からなるグループで文化的摩擦を感じたことはない、インタビューで聞いた全員から回答があった。研究者の間よりは、技術者との間で意識の差や摩擦を感じたことがあるとの意見も聞かれた。今は、グループ内でメンバーの一人として地道に研究していても、いつかは自分のアイディアで大型実験をやってみたいとの夢も語られた。多人数の研究グループで活動する制約を守りつつ、自分の行いたい研究と折り合いをつけている状況が看取された。

具体的に物理の研究を進めるために、PHENIX グループでは会議や情報共有が図られている。共同研究打合せは月 1 回実施されている。異なる機関と異なる専門分野に属するメンバーが世界各国に散在しているため、世界各国から PHENIX グループ内部インターネットにアクセスし、データ・情報・知識を 1 カ所に蓄積している。時差を考慮しながら TV 会議や skype を駆使し、会議を行っている。PHENIX 検出器が設置されている BNL にグループメンバーが全員集まることは、ほとんどない。

PHENIX グループにおいては、専用の Web ページが非常に重要な役割を果たしている。メンバー以外であっても、PHENIX グループの発表論文一覧や内部ルール等多様な情報を PHENIX グループウェブサイトで見ることができる。グループメンバーは、ユーザーID とパスワードを入力することで、PHENIX グループの内部ウェブサイトログインできる。内部ウェブサイトには、実験データや詳細のやり取り、論文の中心メンバー、研究に関する議論の掲示板等のコンテンツがある。シニアメンバーは、若手の議論の行方を見守りつつ、グループとしての論文の質が保てるよう確認をし、適切なコメントをしている。また、論文単位で番号を付けて管理しており、メンバーであれば誰でも解析データ・解析ノートなども検索することができる。研究グループ内で、ウェブサイト構築の得意なシニア研究者が管理人に指名されて、頻繁に更新している。

また、物理解析グループ・ワークショップ毎のフォルダが作られている。ここでは、解析データ等の全ての情報を一括管理している。また、PHENIX グループ

⁶³ Y 氏インタビュー (2011 年 6 月 10 日実施)。

ブ運営に必要な情報として、プロジェクト毎や運営方法など、目的別に細分化して分類されている。

さらに、各種メーリングリストによる情報共有を行っている。PHENIX グループが設定している公式メーリングリスト(付録 1 参照)は 13 個、RHIC 運営に関して設定されている公式メーリングリスト(付録 2 参照)は 11 個、存在する。これらは、論文執筆チーム毎や運営方法・イベントなど、目的別に細分化し活用されている。

PHENIX グループは、14 カ国 75 機関が参加している(付録 3 参照)。各国の所属機関は、ブラジル 1、中国 2、クロアチア 1、チェコ 3、フィンランド 1、フランス 4、ハンガリー 3、インド 2、イスラエル 1、日本 11、ロシア 8、韓国 8、スウェーデン 1、アメリカ 29 となっている。表 3-4 で、PHENIX グループメンバーの推移を明記した。

表 3-4 PHENIX グループ構成メンバー推移

年	93	97	98	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
人数	320	441	459	486	485	457	484	539	554	563	547	546	563
機関数	43	41	43	48	54	58	61	63	67	72	70	72	74
国数	10	9	11	11	11	11	11	13	13	14	14	14	14

出典： PHENIX(2010)

3.7.2 組織としてのグループの特徴と分業化

ザイマン(2006)が主張するように、大規模な研究施設を建設し、多くの異なる組織からの科学者のチームでそれを利用するために適切な管理システムが必要で、高エネルギー物理学実験に携わる科学者たちが管理的な仕事から逃れられず、科学知識の生産とその応用との関係を組織的に改善し、運営することが必要になる。研究期間が長く、多くの研究者が参加する巨大科学では、個人間やグループ間の衝突をつくろったり、無視したりする色々な手続きがあり、その成果は共同研究全体の代表者によって発表される。また、多国籍の科学者や技術者が、装置の非常に複雑な部分も含めて改善に取組み、幅広い特殊な機能を発揮して協力し合うので、毎日お互いに密接なコンタクトを取り合わねばならない(ザイマン, 1995)。PHENIX グループでも、体制とルールを整備し、コ

コミュニケーションを重視したグループ運営を行っている。

中岡(1971)は、工業化の過程で工程別分業と機能別分業が組み合わせつつ複雑なネットワークを形成してゆく形で「組織化」が進行してゆき、さらに部分から全体を組織するものと部分の機能を担うものの分業と主労働と補助労働の分業が発生すると述べている。PHENIX グループのメンバーとしてエンジニアやテクニシャンは含まれていない。BNL 物理部門が、PHENIX グループを支えるために、エンジニアやテクニシャンを雇用している。ザイマン (1995)が CERN においてソフトウェア設計、エレクトロニクス工学、データ解析のように、各自の技術的能力によって分業が進んでいることを報告しているが、PHENIX グループ内でも物理学者が論文生産システムのプロセスに応じて、コンピュータ処理・装置製作・データ解析などの分業をしており、主労働と補助労働の分業というよりは、工程別分業と機能別分業が組み合わさった分業が行われている。

中岡(1971)はさらに、プラントの機械工や溶接工など熟練の過程を通して、労働の熟練や経験が装置に吸収されてゆき、装置とシステムの欠陥が修正されて行くにつれ、この集団的熟練の比重は急速に低下していくことを明らかにしたが、PHENIX においても検出器製作時から所属しているシニア研究者が装置の詳細を把握し、検出器の不具合発生時などは装置屋の知識・知恵に頼ることとなる。

また、トーブス (1988, p. 346) は、「イタリアでは、教授に簡単に逆らってはいけないのさ。ドイツでもそう。ところがアメリカではいいのだよ。たとえば、大学院生でさえディック・ファインマン(ノーベル賞受賞者)に、あなたが言っていることはばかばかしい、などと言っている姿を十分想像できる」と物理学者の国によって異なる慣習を記述しているが、アメリカの大らかなお国柄を反映し、PHENIX グループでは自由闊達な議論が行われている。例えば、グループ代表者や著名な物理学者に対しても、大学院生がファーストネームで呼びかける。

3.8 PHENIX グループにおける知の創造

PHENIX グループではグループ内で知の創造を組織的に行う、品質管理も含めた仕組みを整備している。高エネルギー物理学では彼ら独自の検出器を構築し、

それを恒常的に修理し、調節し、新しい実験のために再建さえするので、実験結果を検査するのは並外れて難しいことであり、ある特別な報告にどれだけの信頼を置くか決めるのに、人間の判断以外の選択肢がないこともあり（ポーター, 2013）、PHENIX グループでも研究成果の信頼度を担保するために、非常に慎重な仕組みを取り入れている。

PHENIX は、内部コントロールが非常に厳しい。僕は STAR の中
がどうやっているか知りませんが、PHENIX の方は非常に慎重
にやって、内部審査を厳しくやっている。

品質の担保

（A 氏インタビュー：2014 年 8 月 29 日）

A 氏以外のメンバーも、PHENIX グループが厳しい手順に沿って研究を進めていると認識している。実際、グループのルールが整備され、ウェブ上で共有されている。検出器が設置されている BNL にメンバー全員が集まって作業するのが一番有効ではあるが現実的ではないので、PHENIX グループでも実験装置に関する暗黙知・形式知が主にインターネットを通じて活用される。インターネットとコンピュータを利用した共同研究が物理学の分野で活用され、健全な分野の構造を示しているが（Lorigo & Pellacini (2007)）、PHENIX グループでも WWW を活用して論文生産を行っている。

なお、大型加速器を使う大規模物理学実験では、検出器建設に長時間かかる。PHENIX 検出器では、建設に 8 年かかった。本稿では、建設後安定的に論文生産している時期に焦点を置いているため、検出器建設に関する議論は対象外とする。

PHENIX グループの論文生産プロセスは、図 3-11 のように 9 段階に分かれる。次節より詳細を記述する。

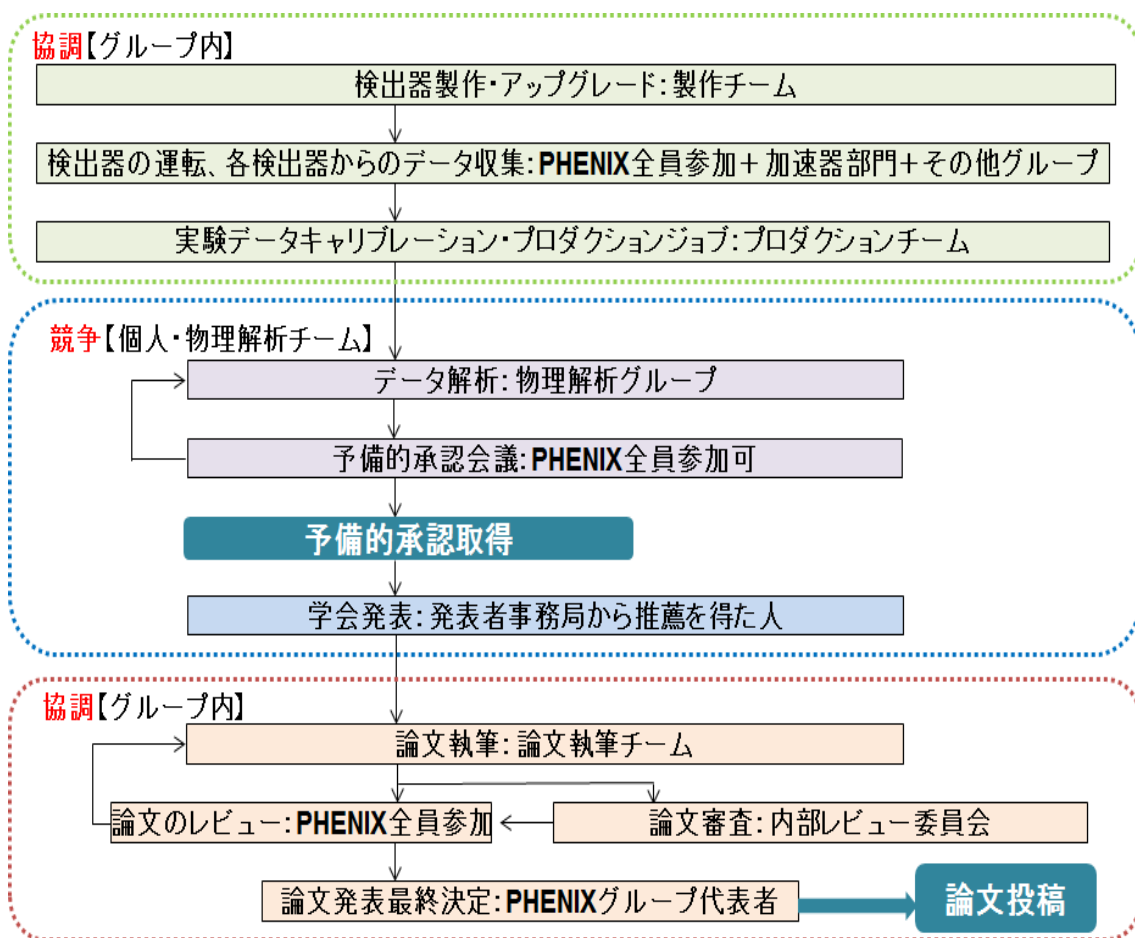


図 3-11 論文生産プロセス

出典：インタビューや資料にもとづき筆者が作成⁶⁴

3.8.1 検出器製作・アップグレード

「測定器の最終目標は、それぞれの衝突イベントについて、測定できる情報をすべて得ることである。実験家はどんな角度で出てきた粒子であれ、すぐそばの粒子の飛跡と厳密に区別して観測したいと思っているし、またできることなら、全ての粒子を同定し、磁場中での飛跡の曲率から運動量を、カロリメーターに類する装置でエネルギーを計りたいのである（レーダーマン & シュラム, 1993, p. 202)」と言うように、高エネルギー物理学実験の研究者は、より細か

⁶⁴ 主に A 氏のインタビュー（表 3-1 参照）、Publication Policies of the PHENIX Collaboration (<http://www.phenix.bnl.gov/phenix/WWW/publish/jacak/sp/publications/publications.htm>), PHENIX Preliminary Approval Procedures (<http://www.phenix.bnl.gov/WWW/publish/jacak/sp/Customs/prelim.htm>.)から作成。共に、2014 年 8 月 5 日アクセス。

い実験データを求めている。そのため、実験装置が完成した 2000 年以降実験を行っている PHENIX グループでは、適宜検出器の製作やアップグレードを行っている。

製作チームには、PHENIX グループのメンバーであれば誰でも参加が可能である。ただし、検出器等のサブシステムを作ったとしても、その製作者が論文を書くことに直結していない。サブシステムの製作に関わり、サブシステムを自分の所属機関が持っていることの有利な点は、システム構築のクレジットに加えて、サブシステムの詳細を理解できることであり、このアドバンテージは大きいとされる。装置開発の予算を出した機関に限定されることなく、PHENIX グループに所属している人は誰でもどの論文執筆チームにでも参加することができる。他機関所属のメンバーと差がつけられることはない。

データは PHENIX グループがサブシステムを統合したデータ収集システムで記録し、共有ファイルとして保存されるが、サブシステムを実際作り、サブシステムの詳細を把握し、その生データ解析プログラムを作った人でないと、すぐにはデータの解析方法が分からないからである。検出器の製作には、数年かかることもある。検出器の製作・アップグレードが完了後、設置する⁶⁵。

検出器の製作や改善については、プロジェクトチームが立ち上がる。2010 年秋に完成したバーテックス検出器開発を具体例に挙げると、開発期間は約 7 年であった。プロジェクトメンバー 7 人で、日本人のプロジェクトマネジャー、日本人の開発リーダー、若手研究者 3 人（日本人 2 人・アメリカ人 1 人）、大学院博士課程学生 2 人（日本人 2 人）が主要メンバーで、毎朝 30 分の進捗会議を実施し情報共有を図ると共に、メンバー間での自由な議論を尊重していた。検出器の試作品完成時・検出器完成時など、プロジェクトマネジャー主催の夕食会を実施し、結束を固めていた。また、個人がメモを取るだけでなく、複数人で進捗状況を把握するために、ラボノートを共有していることがプロジェクトメンバーであった H 氏・M 氏のインタビューで明らかになった。

⁶⁵ 福島（2010）は、工場立ち上げの初期を例に挙げて、様々な故障や問題続出で、それらに対応すること自体が膨大な労力を要求するものではあったが、逆に言うと、そうした故障や問題自体が、そのシステムの全体的な働きを学ぶ、絶好のチャンスであったと述べている。PHENIX グループで新しい検出器を導入することは、工場立ち上げの初期と同様に、順調に動かすまでは相当な苦労があることが、H 氏・M 氏（2015 年 3 月 15 日実施）らのインタビューでも述べられた。

検出器の時って、あれですよ。1冊のノートを共有したりするから。

データ共有
協調

(H氏インタビュー：2015年3月10日)

例えば、あるテスト項目を数人で手分けしてやる時。
同じノートを使ってやるので。まあどうやってやったとか、
その辺は手で書いた方が確実に早いし。大切なノート。

データ共有
協調

(M氏インタビュー：2015年3月10日)

複数人で協調してデータ・情報の共有を図るために、ラボノートが重要な役目を果たしていたことが分かる。

3.8.2 検出器の運転・各検出器からのデータ収集

予算額によって左右されるが、最近の衝突型加速器 RHIC の衝突点に設置している PHENIX 検出器でのランは、年間 150 日前後である。ビームの種類・期間等ランの計画は、ビームを提供する BNL 加速器部門、STAR グループと協力して立案し、実験を行う。なお、加速器の運転、加速器ビームの改善そのものは、BNL 加速器部門が担当している。この部門は、加速器物理の専門家・応用物理学者・エンジニア・テクニシャンが所属しており、PHENIX グループメンバーと密接に連携している。加速器の運転終了時に、実験物理学者が加速器部門への感謝を表す慰労会を行っている。

例えば、ラン 14 は 2014/2/9 から同年 7/6 まで行われた⁶⁶。この 1 年につき約半年のラン期間中に、1 週間のシフト取得を PHENIX グループのメンバーは要求される。大学院生であっても、教授であっても PHENIX グループのメンバーである限りはシフトを取ることが義務づけられている。

PHENIX グループはランの年次制を取っている。ラン開始前にその年のランにおいて生まれる論文の著者になるべき人の名簿提出を、PHENIX 事務局から各機関に要求する。各参加機関の人数比に基づき、必須のシフト数が各機関に割り振られる。人によっては、何回もシフトを取る人がいる。シフトの中にも役割

⁶⁶ <http://www.agsrhichome.bnl.gov/RHIC/Runs/>, 2015 年 12 月 17 日アクセス。

分担がある。シフトは1日を、8-17時、16-25時、24-9時の3つの時間帯に分割されている。引継ミーティングも適宜行っている。

各機関は人数分のシフトを取る約束をし、シフト・ブロックの Web ページに登録する。シフト取得の他に、サブシステム⁶⁷専門家として検出器の運転をランの間行う。PHENIX 検出器の隣に設置されているカウンティング・ハウス（状況監視室）には、各検出器サブシステムやビームの状況が分かるモニターが並べられている。ラン期間中はシフト担当者がモニターを確認し異常が起きていないか、異常が起きている場合は対応方針を検討し緊急連絡を行うなどの当番をこなす他、サブシステム担当者も必要に応じて集まるため、非常に込み合う。

検出器運転中は、できるだけカウンティング・ハウスにいるようにしています。色々な人が集まっていて、状況が分かるから。

情報共有
協調

（K 氏インタビュー：2011 年 5 月 18 日）

このように、データ・情報がカウンティング・ハウスに集中して蓄積される様子を、K 氏が語っている。

ラン毎に、中堅研究者の中から運転責任者（ラン・コーディネータ）が選出される。運転責任者は、検出器に関して問題が発生した時の連絡先リストを持っている。このリストには、各検出器に関して最も深い知識を持っている研究者が明示されている。

RHIC 加速器の運転では 2 本のリングにビームを放出する。2 本のビームが PHENIX 検出器の囲む衝突点で衝突し、それによって解放されたエネルギーは新たに多数の粒子をつくり出し、それらが衝突点を中心にしてすべての方向にまき散らされる。レーダーマン & シュラム(1993)によれば、これらの粒子がつくる微小な電気信号は、衝突点を取り囲む巨大な検出器に組み込まれている数千のセンサーによって増幅、記録される。生成された粒子は、こうして一つ一つ完璧な精密さで記録にとどめられる。

⁶⁷ PHENIX は十数個のサブシステムからなる検出器である。各サブシステムの当番であるサブシステム専門家がラン中の故障に対応する。シフトは、PHENIX 全体の運転をしている。

検出器の運転、各検出器からのデータ収集を行う時、データであるか雑音であるか、判定している。その判定にも知識が活用されており、シニア研究者A氏が図を一見しただけで、「ピークがあるのが見える⁶⁸」と判断される。また、取得した電気信号をデータとして見極める過程について、以下のように表現された。

フォトン・チューブというですね、あの光センサーがある
んですね。その光センサーが受けた光をえーとレジスター、
の光が、と言っても光の粒が1個1个数えられるので。

データ取得

光の粒の数がいくつあったかというのがですね。

フォトン・チューブという光センサーからやってくるですね、
あの、電気信号の大きさによって、Photo Tubeに来ている光
の量を表しているわけですね。

(A氏インタビュー：2014年10月21日)

3.8.3 実験データキャリブレーション・プロダクションジョブ

衝突で叩き出された粒子の飛跡を再構築し、画像にする段階である。検出器運転中に検出器を通して取得したペタバイト単位のデータをキャリブレーションした後、コンピュータで解析して Data Summary Tape (DST) という形にする。この作業をプロダクションジョブと言う。プロダクションジョブは、主に PHENIX グループ内の BNL 職員が中心となったプロダクションチームで行うが、大学院生やポスドクなどがサポートを行う。PHENIX グループのすべてのサブシステムでこの作業が終了しないと、次の段階に進むことができない。

STAR は TPC⁶⁹なわけ、検出器が。TPC その他もろもろ。

【中略】 PHENIX は【中略】これじゃないと駄目だって
いう検出器がないんですよ。皆ないと困る。【中略】

協調
一致団結

⁶⁸ A氏インタビュー(2014年10月21日)。

⁶⁹ Time Projection Chamber。

それぞれが自分の役目を果たしてやっているのです。

(N 氏インタビュー：2015 年 4 月 2 日実施)

装置屋である N 氏は、PHENIX グループで各検出器が全て順調に動かないと、実験ができないことを強調していた。また、コンピュータで処理している内容を、A 氏が口頭で解説している。

1 個のイベントがあった時、実はこういった線がたくさんこのようにある。【中略】こういったものをもととはバラバラであった色々なシグナル、キャリブレートした後でもバラバラなヒットをつなぎ合わせて、粒子トラックという物にする。その粒子トラックというのは何百本とあるんですね。【中略】それまで完全にバラバラだったものをまとめるという行為がプロダクションというものです。

データ収集

(A 氏インタビュー：2014 年 10 月 21 日実施)

大量のイベントが起こり、大量の粒子トラックを再構成する作業量の多い段階である。実験開始後数年は非常に苦労してプログラム作成や処理を行い、毎年改善を図ってきて知の資産を蓄積してきたものの、作業内容についてはマニュアル化されていない。

3.8.4 データ解析

PHENIX グループに参加している研究者の興味にしたがって、実験データの解析が個別に進められる。この際、物理解析グループがデータ解析の中心的な役割を担う。PWG は、取得した大量データをテーマ別に結果を纏めるための議論をするフォーラムで、各 PWG が毎週ミーティングを行っている。PWG はある程度長期的に継続し、2014 年 11 月時点では PHENIX グループ内に 3 グループ存在している⁷⁰。PHENIX グループは物理のテーマとしては 2 種類研究を実施しており、重

⁷⁰ Phenix Physics Working Groups <http://www.phenix.bnl.gov/pwg.html>, 2014 年 8 月 5 日アクセス。

イオンに関する PWG は「PLHF (Photons, light vector mesons, hadrons and flow)」と「HHJ (Hard scattering, Heavy flavor and jets)」、スピン物理に関する PWG は「Spin」である。

データ解析をするために PHENIX グループのメンバーは、RHIC 計算機センターの PHENIX グループアカウントを与えられ、実験データなどの様々な情報にアクセスできる。大学院生やポスドクが、それらのデータを使って解析プログラムを書き、有識者に教えてもらいながら解析する。どのようなデータ解析を行うかは、個人の研究の興味と所属組織の意向により、決まる。基本的にはボトムアップ方式で、データ解析を行っている人がその結果を持ち寄ってきて、他の人々がその結果を承認するための汲み上げシステムである。解析が進むと、解析内容に関連の深い PWG で解析内容を発表して、物理の内容に関する議論が行われ、厳しく正当性を審査される。中堅・シニア研究者の知識・知恵にもとづいた質問・助言とそれに対する解析担当者の質疑応答により、解析の品質を向上させる。PWG の幹事が、議論が盛り上がるように司会進行をする。複数のインタビューによると、PWG は非常に活発な意見交換が行われるようである。PWG の出席者はその週の発表者とそのアドバイザー、幹事が中心となる。発表者は約半分が学生である。

所属機関によっては、PWG 発表前に所属機関だけでミーティングを開催し、発表の練習を行ったり、データ解析の内容を複数人で確認したりする。また、研究のテーマが近接していたり、人気のあるテーマであったりする場合は、PHENIX グループ内でも競争が発生する。同じ解析を複数人がしている場合は、PWG において、激しい質疑応答が行われ、どちらの解析が正しいか、議論が行われる。時には、PWG の幹事が 2 チームの統合を勧めることもある。並行して段階を踏んでおり複数の結果があるため、調整して、統一結果にまとめて論文にすることを目指す。このように、グループ全体としては競争が前提であるものの、適宜協働して新しい知識を生産している。

PWG で発表して承認を得られないと、その先のプロセスに進めない。PWG 内で合意が得られない場合、幹事が調整をするが、調整が困難な場合は執行部が対応する。PWG のメンバー、特に PWG の幹事などが、データ解析の正当性を検討したり、質問に対する回答等を見守ったり、色々なアドバイスをする。そのアドバイスを受けて、数週間後～1 ヶ月後に改善点の確認をする。その後、データの

取得状況・解析方法・結果等を、内部文書である解析ノートに記述し、PHENIX の解析ノートサイトに投稿する。物理解析グループのメンバーがその内容を確認し、投稿後約 1 週間で、解析結果に対する PHENIX グループの承認要求を、PHENIX グループ全体に対して行う。これを「予備的承認要求 (Preliminary Approval Request)」と言う⁷¹。ただし、「プレリミナリー (予備的承認)」は暫定結果で、論文にまとめるまでの中間段階である。

「チームメンバー同士で頻繁に非公式のコミュニケーションを行うことで問題と解決策が生まれる。また、チーム内で洞察、経験、課題とその解決策が共有されることで、相互学習に繋がる」 (Reich, 1991, p. 88) とあるが、PWG で行われていることは、まさに相互学習である。

PWG において作られる知識は、品質保証のため解析ノートに記載され、PWG メンバーによって知識の内容が厳しくチェックされる。例えばバイオ系の研究室においては、実験の方法・技術は、実験プロトコルとして形式化され、学生らは実験のプロセス・結果について、実験ノートとして詳細なログを取っている。上野・ソーヤー(2009)は知識の形式化という時、管理の資源の一つとしての文書、生産の資源の一つとしての文書がそれぞれ存在し、それぞれ異なった社会組織や実践が形成されていることを示していると述べているが、PHENIX グループの解析ノートはまさに知の形式知化であり、管理の資源かつ生産の資源と言える。

3.8.5 予備的承認会議

解析した結果の予備的承認会議 (Preliminary Approval Session) が、通常毎月第 2 火曜日に行われる。その議長は、PHENIX グループ代表者が務め、PHENIX グループのメンバーは全員参加が可能である。PWG の枠を出て、PHENIX グループ全体で議論する。ザイマン(2006)が、高エネルギー物理学のような巨大科学では、批判的な論争は主に、発見が公表される前に研究チームの中で起こると指摘しているように、過去の PHENIX の測定結果と矛盾はないか、正しいかどうかについて議論し、反論がないと承認され、PHENIX のプレリミナリーが与えら

⁷¹ PHENIX Preliminary Approval Procedures
<http://www.phenix.bnl.gov/WWW/publish/jacak/sp/Customs/prelim.htm>, 2014 年 8 月 5 日アクセス。

れる。PHENIX 実験の正しい結果であるという認定を得た上で、初めて解析結果を外部で話ができるようになる。承認を得た場合でも、細かい指示が出ることもある。大きな国際会議の前には、既に登録している発表についてのプレリミナリーを取らなければならないので、担当の研究者には大きなプレッシャーがかかるが、グループとしても品質を落とすわけにはいかないため、予備的承認会議で非常に厳しいやり取りが行われるとのことである。

なお、複数の研究者が同一テーマについて解析を進めている場合であっても、プレリミナリーは 2 つ出るわけではなく、先に解析をまとめた者がプレリミナリーを取る。

3.8.6 学会発表

知識の伝達に重要な機能を果たしているので、論文発表と同様に学会発表も重視される（ザイマン，1981）。特に、高エネルギー物理学の分野においては、著者がアルファベット順に並んでいるため論文だけでは貢献度が分からないため、学会発表は貢献度が明示される重要な機会となる。

高エネルギー物理学の分野で最も重要な会議は、クォーク・マターである。クォーク・マターはパラレルセッションであっても、PHENIX の発表者を任される人は一生を通じて、普通 1 回か 2 回である。クォーク・マターの発表者を選ぶかどうかは、この分野の研究者にとって極めて重要である。

国際学会では、グループの承認なく PHENIX の結果を話してはいけないルールとなっている。例外としては日本物理学会や米国物理学会は、5 分や 10 分の講演時間なので、各自で応募して、自分の研究内容を話すことが可能である。それよりレベルの高い国際学会は、全て PHENIX の発表者事務局を通して発表者を選ぶ。発表者事務局は、執行部に付随している。発表者事務局員は、PWG の元幹事、4-5 人のシニアメンバー、PHENIX グループ代表者、執行部メンバーの全部で約 10 人から構成されている。任期は特に設定されておらず、PHENIX グループ発足以来 2015 年 4 月時点で 2 期目のメンバーが着任後 7-8 年目を迎えているとのことである。PHENIX グループ組織図に発表者事務局が明示されおらず、その理由は不明である⁷²。

⁷² 発表者事務局員の V 氏インタビュー（2015 年 4 月 16 日）による。

プレリミナリーを取得した実験結果について、学会で発表する。大きな国際学会の発表者は、PHENIX グループの発表者事務局がグループ内の調整を踏まえて推薦する。解析を中心的に行った者は、学会発表者に PHENIX 研究グループ代表として選ばれる可能性が高く、グループ内外から研究実績を承認される栄誉を担うこととなる。プログラムや予稿集には「氏名 for the PHENIX Collaboration」と発表者名が明示される。PHENIX グループの研究者の個人名が、唯一公式かつ筆頭に提示される機会である。

「知識を有する個人」が高エネルギー物理学者集団の中では消えてしまっており、チームや集団は研究結果を発表するための発表者は実験には全く参加していない人間かもしれない、それは高エネルギー物理学者集団が個人と集団の区別を越えることを学んだからとカロン・ロー（1999）は述べているが、PHENIX グループではデータ解析に貢献した人が発表者に指名されることが原則である。PHENIX グループ内部では、個人が集団に埋没していることはなく、研究成果に対する貢献者はグループ内部で共有されている。

3.8.7 論文執筆

投稿論文執筆前段階（Pre PPG : Paper Preparation Group）を設けていた時期もあった。プレリミナリーは学会発表に限定された承認なので、次は論文にする必要がある。論文執筆を促すために、プレリミナリーは同じ解析結果について一度しか要求できない。プレリミナリーが出て論文の方向性が見えてくると、Pre PPG として同じテーマに従事している研究者が集まって調整し、論文に落とし込めるようにまとめる。

現在はプレリミナリーがある解析データについて承認されると、Pre PPG を結成することではなく、プレリミナリー取得後、論文執筆の準備ができたチームは、物理解析グループに要求を出し、物理解析グループが承認後、PHENIX グループ代表者の承認を経て論文執筆チーム PPG が結成され、論文案の準備に着手する。論文執筆チームは、責任を持って論文を仕上げることを求められる。

論文執筆チームができるまでの組織的体制を図 3-12 に示した。データ解析では個人の興味に応じて、非公式なチームができていた。PWG 等で類似のテーマに取り組んでいる研究者が自発的にまとまったり、PWG の幹事がチームにまとまることを提案したりする。論文執筆の段階では、公式なチームとして PPG が成立

する。もちろん、途中で頓挫し論文完成に至らない場合もある。

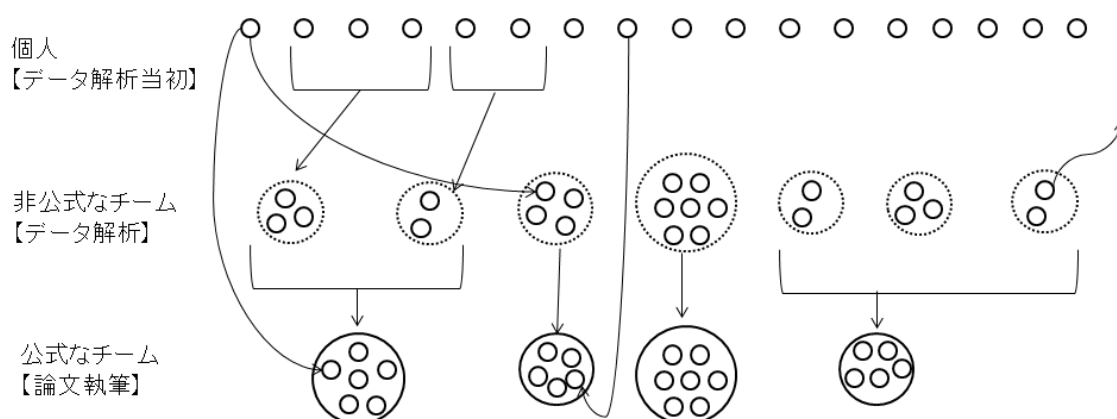


図 3-12 PHENIX グループ内の論文執筆チームの生成

出典：インタビューや資料にもとづき筆者が作成

約 500 人の共同研究者全員で論文を書くのは不可能なので、実際に書くのは通常 3-4 人、一番重要な著者は 1 人か 2 人である。基本的には、主著者である議長と解析を行った主要メンバー、その世話役で主要メンバーを固め、場合によっては第 3 者的なそのテーマの有識者を加えて、PPG を結成する。プレリミナリーを取った人が必ず主著者になるとは限らない。プレリミナリーの取得者を自動的に主著者にしてしまうと、取得者が安心してしまっ論文を書かなくなる恐れがあるからである。複数の研究者が同じテーマでデータ解析を行っていた場合は、プレリミナリー取得者と解析が遅れてプレリミナリーが取れなかった人が、PPG の共同議長になることもある。

PPG のメンバー選定過程はデータ解析主要メンバーには知らされず、グループ代表や PWG 幹事によってメンバーが決定される。中心となる 1-2 人が主に執筆し、PPG を構成する 4-5 人で深く議論し、その後 PWG 全員で議論することが多い。主にメーリングリストで議論し、定期的に Skype 等の電話会議システムを使用し、タイミングを計らってBNL等に集まり打ち合わせを実施して執筆を進める。

論文は、PHENIX グループ内の隠語では、PPG 何番と呼ばれる。承認された順に番号がついており、内部では誰が主に解析や執筆を担当しているか認識できる。グループ内部ウェブサイトアクセスすると、グループメンバーであれば誰でも参照できる。グループウェブサイトはシニア研究者が元々作成していたが、現在はBNLのRHICコンピュータ施設の技術者が運営している。

3.8.8 論文のレビュー／論文内部審査

論文案が完成し PPG の議長が投稿できる状態に達したと判断すると、PHENIX グループ内部ウェブサイトの各 PPG が運営しているページに、テンプレートに基づいた PPG は論文第 1 稿を掲載すると共に、PHENIX グループ内部のメーリングリストに投稿し、PHENIX グループ全体のレビューにかける。1 つの論文に対するレビュー期間は 2 週間で、PHENIX グループのメンバーならば誰でも、論文を読んでコメントすることが可能である。レビュー期間終了時に、その論文担当の内部レビュー委員会（Internal Review Committee：IRC）を、PHENIX グループ代表者が PHENIX グループ内から選ぶ。IRC の役割は、グループ内から寄せられたコメントの妥当性を検討し、PPG の主張と比較してコメントの採否を判断し、妥当なコメントを第 2 稿、最終稿に反映させることである。論文の作成状況はすべて、PHENIX グループ内部ウェブサイトで一目瞭然である。また、IRC の委員自身がその論文を読んで誤りがないか検討・コメントをし、PHENIX グループの論文の質を保つよう努力をする。裁き役の内部レビュー委員会と論文執筆チームが協調のうえ、論文執筆チームの議長が主に第 2 稿を作る。順調に行くと、あまり大きな修正はなく、第 2 稿がグループ内に発表される。第 2 稿のレビュー期間は 1 週間である。同時に、第 1 稿へのコメントに対する対応をまとめた回答文書も公開される。第 2 稿が第 1 稿から大幅に変更されていた場合や、論文が非常に長く 1 週間では精読するに十分でない場合は、PHENIX グループ代表者が判断してレビュー期間を長く設定することもある。IRC がコメント対応完了の判断をすると、論文提出の推薦をグループ代表者に対して行う。

グループとして知識の質を徹底的に検証するシステムとなっている。データ解析から論文執筆までのプロセスは、すべて研究グループ内に公開されており、論文が完成するまでに研究グループのメンバー全員が研究状況を追える状態が保証されている上、論文の内容に疑義の声を上げるタイミングも最低 2 回は確保されている。もし納得のいかない論文であった場合でも、PHENIX グループ全員が著者名に連なるため、著者になることを拒絶することはできない。論文のレビュー期間内にコメントをし、納得のいく結果になるまで議論することになる。これらの疑義に論文執筆チームが答えるのは、研究グループのメーリングリストであったり、ミーティングの場であったり、チームの Web 掲示板であ

ったりする。このため、著者名がアルファベット順で掲載されているものの、研究グループ内では貢献度の高い研究者が特定できる。

また、ある時点で見ると、PHENIX グループ内に PPG は複数存在し、論文が完成すると PPG は解散する、プロジェクト型組織である（図 3-13 参照）。PPG に対応する IRC も同様に、論文完成時には解散する。

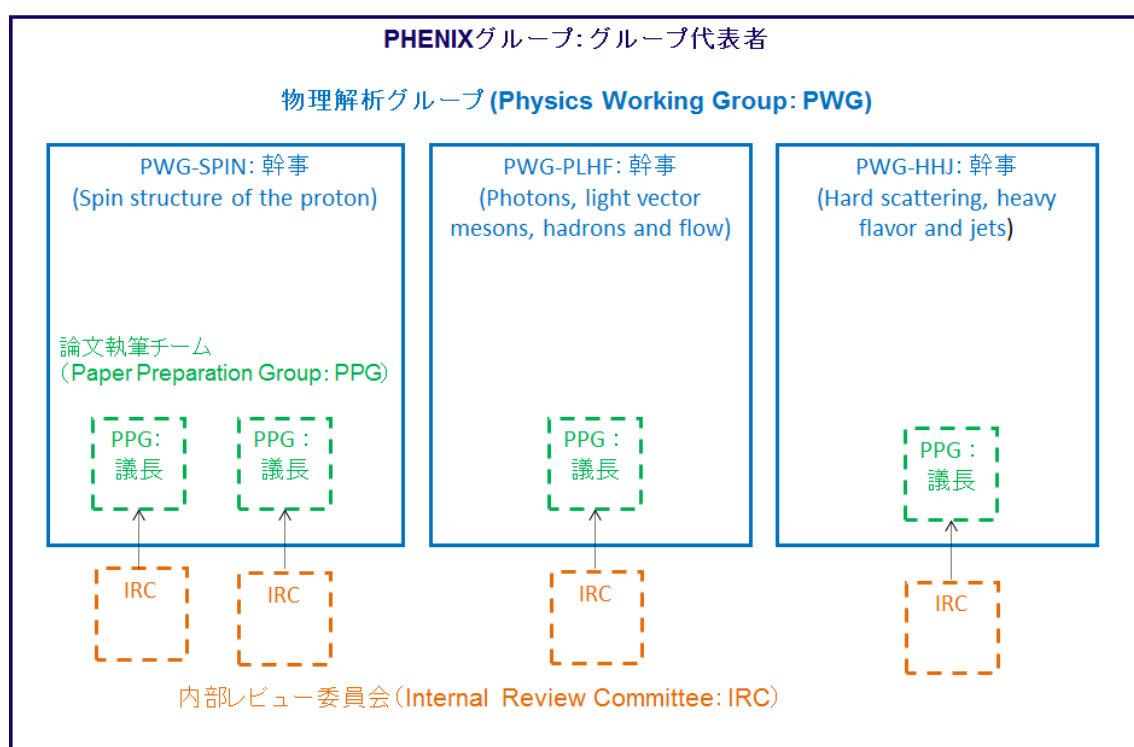


図 3-13 PHENIX グループ内の組織

出典：インタビューや資料にもとづき筆者が作成

3.8.9 論文発表最終決定

最終的に論文を提出する時は、グループ代表者が IRC からの申し送り事項も含めて最終決定する。論文誌編集者の経験もある PHENIX グループ内のシニア研究者が、論文の体裁を整えて雑誌に投稿する⁷³。

以上のように PHENIX グループは、論文著者リスト、データ解析結果の承認、

⁷³ Publication Policies of the PHENIX Collaboration
<http://www.phenix.bnl.gov/phenix/WWW/publish/jacak/sp/publications/publications.htm>, 2014 年 8 月 5 日アクセス。

論文執筆者、国際学会の発表者をコントロールして、PHENIX グループとしての研究成果を発表することで、グループとしての研究の質を高く保つことに努めている。複数のインタビューによれば、他の高エネルギーの大型実験の仕組みを参考にして組織や論文生産システムを作ったということであるが、PWG・PPG・IRC・PHENIX グループ全体と、慎重すぎるとも言える四重もの議論のプロセスを経て論文が生産されている。いきなりグループ全体の数百人で議論するのではなく、少人数での議論を積み重ね、その上で全体の合意を得ている。インタビューでは、PHENIX グループでは民主主義的に様々な判断を下しているが、その反面、大胆な研究アイディアが出にくくなる恐れもあるという意見もあった。また各段階で、システムとして若手と有識者が密接に協力する体制を埋め込んでいる。良い成果を出すために、多くの研究者を PHENIX グループに引き込もうとする。一見、表面上は隠れているようにも思える論文生産のシステムではあるが、実際はグループ全体の手厚い支援体制により論文生産を促し、明示的な報奨を目指した公平な機会提供に基づく競争を促進しているシステムと言えるだろう。

3.9 報奨の仕組み

先に述べた通り、論文の著者はアルファベット順であり、筆頭著者・代表著者の概念は PHENIX グループには適用できない。「何百人もいるとその重要さのランク付けができない。もちろん実際書いた人を最初にするというのも一つの考えだが、データ解析をした人だけが偉いのではないという議論もある。皆参加して、役割を担っているのだから、平等にちゃんと名前を載せるべき。全員のランク付けするのは不可能なので、A, B, C 順に並べるのが一番フェアであろうという立場です⁷⁴」と執行部の一人から聞いた。ラン中にサブシステム専門家の当番をこなしたり、プロダクションジョブやデータ解析の手伝いをしたり積極的に仕事をするのがメンバーに求められていて、そういったシフト以外の仕事の実績は PHENIX グループへの貢献として認められる。

誰がどのように貢献したか、能力の程度は、グループ外からは分からない。

⁷⁴ A 氏インタビュー（2014 年 8 月 29 日）。

個人の貢献度が PHENIX グループ外に明示されるのは、推薦状と学会発表においてである。

グループ内では貢献の度合いを全員が把握している。PHENIX グループ内部ウェブサイトでは、論文毎に誰が関わったかが明示しており、内部では誰と誰の論文と呼んでいる。論文執筆に関する議論はメーリングリスト・Web の掲示板上で全て公開されているし、グループのミーティングにおける発表・質疑応答内容で、各自の能力が赤裸々になる。たいていの場合、論文執筆チームの中心人物は、これから博士論文を書こうとしている学生であり、学生が内容を十分に理解し論文執筆に貢献したとグループ内で判断された場合、重要な学会での発表者になることができる。ここで、論文の中心人物が PHENIX グループ内外に公開される。つまり、同じ分野の研究者同士では、お互いの能力を知り合う機会がある。また、論文執筆以外の貢献については、ある若手研究者⁷⁵は、検出器運転中は自分の居室ではなく PHENIX グループの状況監視室（カウンティング・ハウス）にずっと詰めて、情報収集をすると述べていた。PHENIX グループメンバーが会議や作業現場等の場を共有することで、誰が何をしていてどのような能力を持っているか、把握されている。

ポスドクや大学院生のモチベーションとしては、PHENIX のデータを解析し、大学院生はそれで博士論文を取ることを望み、ポスドクは次のポジションを得るための自身の業績を積むために、解析をする。

大型実験に参加している研究者の能力については、「優秀かどうかは、研究発表を聞けば分かる。シニアな人の場合は、過去にやってきたことを見れば分かる」との複数の意見があった。特に、プロジェクトに閉じた研究発表で本当の実力が分かるが、外部向けの研究発表でもそれなりに実力を判断することができるそうである。

論文はグループ全体の成果、成果の分け前は、参加機関で平等配布である。

もし、ある成果に対してノーベル賞をもらおうとしたら、論文作成の中心人物 3 人が選ばれる、もしくはアイディアを最初に出した人と装置を作った人が選ばれるはずである。そして、ノーベル賞をもらえなかった他の PHENIX グ

⁷⁵ K 氏インタビュー（2011 年 5 月 18 日）。

ループ研究者は心から祝福するだろう。

(Y 氏インタビュー：2011 年 6 月 10 日)

Y 氏が述べたように、この分野で共有されている規範として、正々堂々とした競争とその結果の公正な報奨が前提となっている。

3.9.1 業績リストについて

大学院生がポスドク職に応募する時や、ポスドクが次の職に応募する時、業績リストを提出することが求められる。PHENIX グループの場合、論文の著者はアルファベット順であるが、研究論文リストには応募者が実際にどのように貢献したか分からない状態で、PHENIX グループ論文が並ぶことになる。以下の W 氏のインタビューで分かる通り、この業界の慣例となっている。

筆頭著者っていうものの概念はないんだけど、僕らには。だけど、実際にこの論文が誰のものかって、皆分かるんだよ。それでたとえば、どっかに応募する時に、【中略】自分がやったものを出して、この部分に関しては全部これだけのことをやりましてプレゼンテーションするわけなので、そのことに対して、僕らの業界として文句を言う人はいない。お前筆頭著者じゃないじゃないかって、いう奴はいないので。もうそういうふうになっちゃっているから。あまり問題は起きない。

(W 氏インタビュー：2015 年 4 月 8 日)

他方、口頭発表リストには応募者が発表者である発表が記される。口頭発表のプログラムや予稿集には、「氏名 for the PHENIX Collaboration」と発表者名が明示されるからである。特に有名な国際学会での発表歴がある場合は、応募者自身の貢献度が大きいいため PHENIX グループの代表として選抜され、PHENIX グループの承認を得て口頭発表をしたと見なされる。ゆえに、国際学会での発表者に選ばれることは非常に重要である。

3.9.2 推薦状について

大学院生がポスドク職に応募する時や、ポスドクが次の職に応募する時は、

推薦状を 2 枚程度要求するのが通例となっている。推薦状は本人の実績を知っている人物が実績を書く。推薦状によってのみ、何をどの程度行ったかが部外者にも分かる。推薦状には実際にどの論文を書いた人物であるのか記載する、また、推薦者自身の評判にも関わるため、推薦できない場合は推薦状の執筆を断る、と複数人から公式・非公式なインタビューにおいて聞くことができた。推薦者の性格から、どの程度推薦状対象者のことを相対的に評価しているか推察できると語る研究者もいた。推薦状以上のことを知りたい場合は、研究者ネットワークを通じて非公式に推薦状執筆者に直接問い合わせることも、この業界では通例として行われている⁷⁶。学生や若手研究者の上司にとって、若手が良いポジションを獲得するよう、トレーニングを積ませたり、空いているポジションを紹介したりできる限りのことは手を尽くすが、上司自身の評判にもつなげるため、推薦状は事実即して書く。業界内で噂が共有されており、いつも厳しいコメントを書く研究者が褒めている場合は、相当優秀な若手と判断することもある。

PHENIX グループ内で推薦状の内容を公式に承認する手続きはなく、あくまでも推薦状執筆者に内容が任されている。推薦状の書き方について PHENIX グループ内でオーサライズする仕組みはない。

3.9.3 国際学会での発表者について

国際学会では、グループの承認なく PHENIX グループの結果を話すことは許されず、全て PHENIX グループの発表者事務局を通して発表者を決めるルールである。また、PHENIX グループ外に結果を公開する前提として、プレリミナリーの取得が必要である。

国際学会から PHENIX のトピックで講演の依頼があると、発表者事務局は PWG に対して、国際学会での発表者を問う。PWG の幹事は、該当分野の研究への貢献度が高く、最近プレリミナリーを取ったメンバーに順番をつけて推薦し、発表者事務局に返事をする。発表者事務局では、講演回数や別の要素も加えて発表者を決め、発表者事務局から講演候補に対して、打診する。発表者事務局が発表者を選んだ理由は、公平な選考を目指している一方 PHENIX グループ内でも非

⁷⁶ N 氏・X 氏インタビュー(2015 年 4 月 2 日)や非公式インタビューより。

公開である⁷⁷。

国際学会に参加している同業者は、PHENIX グループの選考を経て発表者となった研究当事者が大きな貢献をした PHENIX の研究内容を発表していると認識し、しかもその結果は PHENIX グループが承認していると認識する。発表者にとっては、そういった認識が得られ発表者自身のクレジットになり、業績リストにも明示できる。

若手研究者 H 氏は、重要な国際学会での発表者に若手が選ばれにくくなっているのではないかという疑問を抱いている。発表者は先に述べた通り、発表者事務局が公正な判断に基づき選ぶ。しかしながら、重要な国際学会での PHENIX グループを代表した講演を複数回任された研究者がいたり、当然選ばれるものと思っていた研究者が選ばれなかったりする例があるという。中堅研究者 R 氏も以下のような疑問を提示した。

またこの人を選んだのか？っていう感じは多いと思いますね。**【中略】**特に選ばれた人が本当の解析をしてない場合だったら、どうしてまたこの人を、何もしてないけど。

(R 氏インタビュー：2015 年 4 月 7 日)

報奨の機会の不公平感
内部コンフリクト

他方、発表者事務局の委員を務めているシニア研究者は、求職中の研究者・会議の開催地・各種意見にも考慮しつつ、十分公正な判断に努めていると答えた。異議申し立てがあった場合は、次の発表者選定時に配慮をしているとのことである。

発表者事務局で判断するので。完全にノン・バイアスではないと思いますね。でも、その中には、PWG 幹事の OB も入っているし、発表者事務局のレギュラー・メンバーは、一応バランスを取って、大学・研究機関、

マネジメント側の配慮
公平性の担保

⁷⁷ これは、CERN の UA2 という大型物理実験グループとは事情が違ふ。Knorr-Cetina(1999)は、発表者が発表テーマに直接携わったかどうかは必須ではなく、グループの中で売り込みたい研究者を発表者に選んでいると報告している。

あと地域も含めて、レギュラー・メンバーを選んで
いるので。それにグループ代表者も入っているので、
まあなるべくそういうのがないように心がけている。

(V 氏インタビュー：2015 年 4 月 16 日)

H 氏は直接シニア研究者 A 氏に、発表者の選定結果について疑義を示したことがある。A 氏は、「PHENIX グループで出た結果を正しくプレゼンテーションできる人が発表者になるべきである」と答えた。PHENIX グループの代表者が 2013 年に交代してから、PHENIX グループとしての利益を優先する傾向が顕著になっているようである。PHENIX グループ執行部はグループ全体の評判を上げることに注力しているのに対し、若手や中堅は自分のキャリアを重視せざるを得ない立場であり、内部のコンフリクトが発生している。また、外部要因としては LHC の実験結果が多く発表されるようになってきている上、PHENIX 検出器のデータ収集が 2016 年で完了することもあり、得られた実験結果を最大限効果的に発表しようと努めている PHENIX グループ執行部の考えが伺える。なお、データ収集完了後も、論文生産は引き続き行われ、全てが終了するのはまだ何年か先のことである。

3.10 論文生産の小事例

3.10.1 PHENIX グループの代表的論文を生産した事例

2010 年に PHENIX グループが Physical Review Letter 誌に発表した 86 番⁷⁸論文は、PHENIX グループが実験提案時から狙っていた研究成果である。その論文を主に執筆した日本人のシニア研究者 A 氏を取り上げ、長時間に渡る論文生産のプロセスを述べる⁷⁹ (図 3-14 参照)。

A 氏は日本の研究機関に所属しており、大学院生の時に RHIC の一世代前の加

⁷⁸ PHENIX グループの Web サイトに掲載されている一覧のリンクから、技術的なテーマの論文やプロシーディングスを除いた 140 報の論文 PDF を取得後、筆者が Web サイト掲載順に論文番号を設定した。なお、Web サイト上、論文は論文が公刊された順で並んでおり、筆者が設定した論文番号は、PPG の発足順、論文を投稿した順とは異なる。なお、PHENIX グループ内では PPG 発足順に採番している。

⁷⁹ 主に A 氏インタビュー (2014 年 8 月 29 日、2014 年 10 月 21 日) と A 氏より提供された PHENIX グループ内部資料、A 氏とのメールでのやりとりに基づく。

速器 AGS での実験に参加して以来、BNL 訪問歴は 25 年以上になる。一時は家族で BNL 近郊に居住していたが、現在は 1 年の半分以上を BNL に滞在し研究を行っている。PHENIX グループの研究を提案した時から主要な役割を担っており、当該論文のデータ収集の鍵となる検出器の提案・製作者である。A 氏は「PHENIX の装置のことは全て知っている」とインタビューで答えたが、別の PHENIX グループメンバー 2 人も、「A 氏が PHENIX のことを一番知っている」と答えており⁸⁰、A 氏が PHENIX グループにおいて重要な役割を果たしていることは間違いない。事実、ほとんどすべての PHENIX グループ論文の内部レビューでコメントを投稿していることが、メーリングリストや内部ウェブサイトで追える状況とのことである。また、PHENIX グループの論文 140 本中、約 5 本で論文の議長を務め、20 数本の論文については PPG のメンバーとして重要な役目を担った。また、当該論文等をはじめとした業績を認められ、日本の原子物理学分野で権威のある賞を受賞した。

86 番論文が明らかにした理論的モデルは、1980 年代から議論されていた。RHIC 建設時の大きなテーマとして取り上げられ、PHENIX 検出器でも理論的モデルの論争に決着をつけることが目標となった。2002 年に検出器を運転した時に収集したデータにより、86 番論文の核になる測定方法を A 氏が思いついたが、データ量が足りず論文化できなかった。2004 年の検出器運転では衝突エネルギーが増加したため、10 倍のデータが取得でき、論文生産のプロセスを進めていくことになった。なお、2004 年のランには 58 機関から 421 人が参加した。

BNL 近郊にある大学のポスドクであった B 氏は、A 氏と近接領域のデータ解析を当時行っていた。どちらからも問わず「一緒にやりますか」というような自然な流れで、A 氏と協力して研究を進めることになった。また、B 氏が世話係をしていた博士課程の C 氏もデータ解析の一部を分担した。博士課程に在籍中の日本人大学院生だった D 氏は、興味があるので参加したいと A 氏に表明し、データ解析の一部を分担することになった。この 4 人が、86 番論文の PPG 構成員である（図 3-15 参照）。D 氏は 86 番論文のデータ解析・執筆プロセスを経験することで、A 氏が創出した新測定方法を 2008 年の検出器運転データに適用し、123 番論文の中心的役割を果たし、その結果博士号を取得した。

⁸⁰ N 氏・X 氏インタビュー（2015 年 4 月 2 日）。

A氏は当時、他の論文も手掛けていたため多忙であった。2005年にプレリミナリーを取得し、その結果を2005年7月に開催された国際学会で発表した後、しばらく進捗が止まった。独創的で複雑な手法のため他の実験グループが先にそのアイデアを発表する心配はなく、A氏が他の作業を優先していた結果、プレリミナリー取得からPPG発足まで2年以上期間が空いた。

手法について理論的な補強をするために、A氏はアメリカ人理論物理学者のF氏と議論を繰り返した。F氏の論文が86番論文の文献リストに明示されている。また、手法の基礎となる数式について、当時BNLに常駐していた若手日本人理論物理学者G氏に確認の協力を得た⁸¹。ザイマン(2006, p. 202)は、「巨大科学の同じ分野の理論家と実験家でさえ研究所の別の会に研究室を構え、普段はほとんど会うこともありません」と述べているが、BNLの物理研究棟においても、理論家と実験家の居室エリアは分かれている。しかしながら、セミナーやワークショップ等でお互いが交流する機会は多く、PHENIXグループのメンバーも理論家と会話をすることが少なくない。

「想像力にあふれながら信頼できるモデルは、エレガントでありかつ精確な実験測定とうまく対応しており、それを巧妙に作り上げるために、理論物理学者と実験物理学者は互いに協力し合う義務がある（ザイマン, 1985, p. 76)」が、「PHENIX実験データの登場に歩調を合わせ、理研BNL研究センターの理論グループが反応頻度や非対称度を理論的に予測するという見事な連携プレーが理論家と実験家の間で行われている（理化学研究所史編集委員会, 2005, p. 541)」といった実績もあり、86番論文を創出する過程にはPHENIXグループ内部だけではなく、F氏やG氏をはじめとした理論物理学者の知識・知恵も深く関わっていると考えられる。

A氏が論文案を執筆し、論文案は4回PHENIXグループ内のレビューにかけられ、のべ24人からコメントが寄せられた。

86番論文は、A氏が一貫して主導的に進めたものと言える。PWGにおいては他のPHENIXグループメンバーに理解してもらうよう、苦労したとのことである。

⁸¹ クーン(1971)が、「事実の測定、事実と理論の調和、理論の整備で、経験的、理論的両面にわたる通常科学の文献はすべて蔽われていると思う」と述べているように、PHENIXグループの研究に理論物理学者も深く関わっており、実験のデザイン・実験結果の解釈では密接な議論が行われる(X氏: 2015年4月2日インタビュー)。

PWG での議論の状況について、A 氏は以下のように説明した。

皆さんに説明して、確かに間違っていないと納得してもらうことが重要ですね。それからもう一つ、間違っていない場合でも、ちゃんと皆が分かるように説明することが重要なのであって。皆さん確かに変なことはいないと納得させる。説明することによって、問題点があるかどうかというのは必ず明らかになるわけです。【中略】常にオープンに議論することが重要だということですね。経験ある人は分かっているつもりでやっていますが、実は穴があったりすることもあるわけですから。

(A 氏インタビュー：2014 年 10 月 21 日)

物理研究の品質
担保
公開議論
競争と協調

また、PPG においては、A 氏の知識を若いポスドクや大学院生に移転しつつ協調することで、論文を完成させ 2010 年 3 月に公刊された。独創的で複雑な手法の内容を Physical Review Letter 誌の本文 4 ページ以内という制約では説明しきれなかったため、ほぼ同時期に 87 番論文も執筆し Physical Review C 誌に発表した。

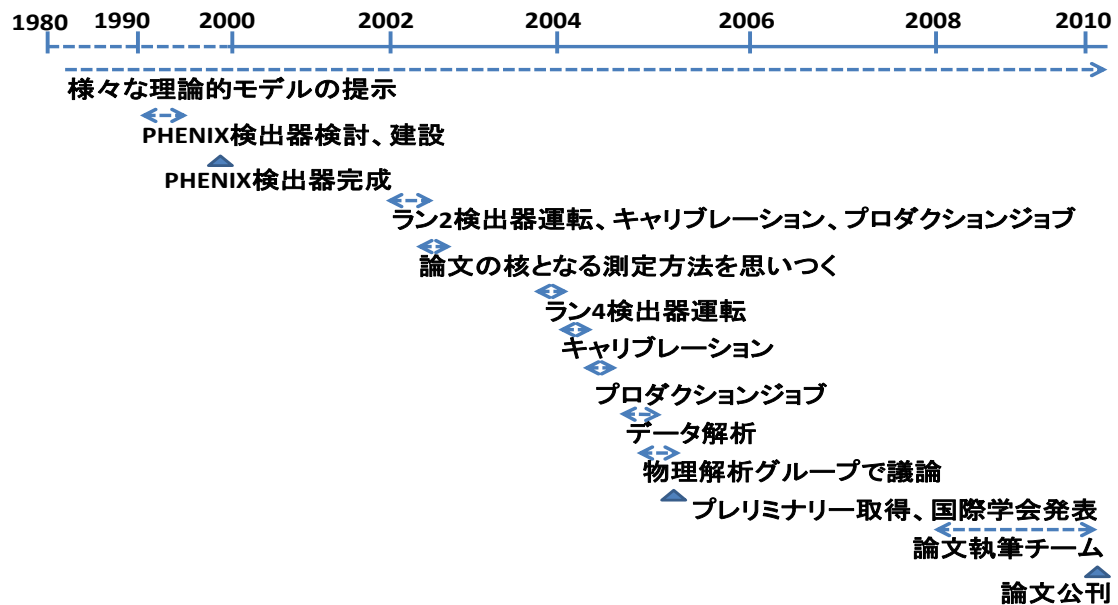


図 3-14 86 番論文のスケジュール⁸²

出典：筆者作成

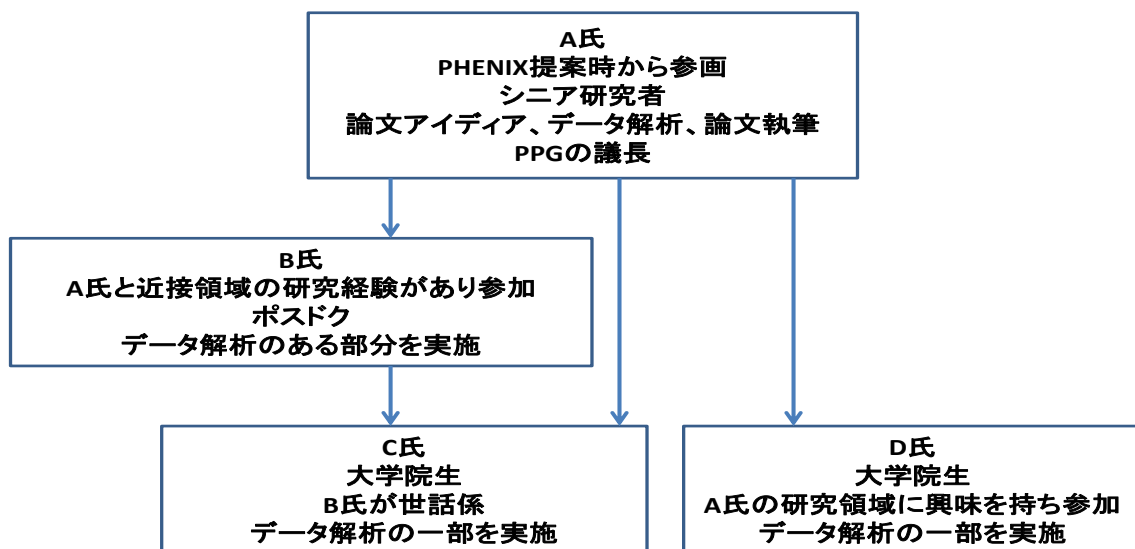


図 3-15 86 番論文の執筆体制

出典：筆者作成

⁸² 理論物理学者が理論的モデルを提唱し、実験物理学者がそれを証明するまでに何十年もかかることがある。たとえば、ヒッグス博士によって 1964 年にヒッグス粒子の存在が予言されたが、欧州原子核研究機構 CERN に設置されている加速器 LHC でヒッグス粒子の存在が確認されたのは 2012 年である (CERN, 2013)。実験物理学者が示した実験結果について、理論物理学者が分析することも行われる。このように、理論物理と実験物理は相互補完的に進展してきた。

3.10.2 ある若手ポスドクが論文を生産した事例

PHENIX グループに関連した修士論文、博士論文、Physical Review Letter 論文を執筆したポスドク H 氏へのインタビューを元に、論文が生産されるプロセスの詳細を記述する（図 3-16 参照）⁸³。

H 氏は、2000 年の PHENIX 実験開始以前から、PHENIX グループに参加している。H 氏は大学 4 年で高エネルギー物理学実験の研究室を自発的に選んだ。担当教授が PHENIX グループのメンバーだったため、修士 1 年の時に担当助教に引率されて、同級生と共に BNL を初めて訪問した。担当助教の指導の下、PHENIX 初実験に向けて検出器の製作に携わった。その後、担当教授と A 氏の間で相談が行われ、H 氏は A 氏の指導も受けることになった。A 氏は当時 BNL に長期滞在しており、BNL 滞在期間の短い担当教授よりも綿密に H 氏を指導できること、A 氏は一緒に研究する若手を求めていることから、このような体制になったと予想される。日本人の若手研究者については、大学・研究機関等所属の違いを越えて中堅研究者・シニア研究者による指導が一般的に行われている。大学院生は、A 氏が所属している研究所の実習生や研修生・リサーチアソシエイト等の身分を得て、指導を受けることが多い。

H 氏は A 氏が中心になって進めていた 5 番論文のデータ解析チームに入り（図 3-17 参照）、A 氏の指導を受けながらデータ解析の一部を実施した。2000 年のラン 1 の実験データを解析した内容で、修士論文を執筆した。博士課程に進学しても、しばらく 5 番論文のデータ解析と論文発表準備に追われ、Physical Review Letter 誌に発表した。博士 3 年の時に同じ解析手法を新しいデータセットで行うことになり、25 番論文の元になる解析チームが結成された（図 3-18 参照）。H 氏は実験データの解析をすべて行い、PPG では H 氏が議長になり、A 氏の助言を受けつつ執筆し、25 番論文を Physical Review Letter 誌に発表した。ただし、重要な国際学会の発表者には選ばれず、PPG のメンバーであった L 氏が選ばれた。L 氏はデータ解析を担当しておらず、H 氏がデータ解析を全面的に行ったので、H 氏は残念な心情を以下の通りインタビューで語った。

⁸³ 主に H 氏インタビュー（2015 年 3 月 15 日、2015 年 4 月 9 日）と H 氏より提供された PHENIX グループ内部資料、H 氏とのメールでのやりとりに基づく。

ドクターのプレリミナリーの結果は僕が喋りたかった
なあと思えば思います。何か知らない間に決まってい
て、知らない間に僕じゃなかったんですよ。その解析
僕しかしてないはずなんですけど。【中略】その時は
僕もそういう意味ではふーん、ぐらいな感じでしたが、
良く考えたら、どう考えてもおかしいよなあ、みたいな。
彼自身は何の解析もしてなかったですからね。

報奨機会への不
満
公平性への疑問

(H氏インタビュー：2015年4月9日)

H氏のような若手研究者にとっては、この分野最大の国際学会の発表者になることは、今後のキャリアにとって非常に重要な業績となる。その機会を自分の知らざる間に貢献度が低かった他者に奪われていたことは、PHENIX グループの公平性を揺らがす状況かもしれない。少なくとも、発表者が選ばれた理由は説明されていない。

H氏はこの実験データを元に博士論文を執筆し、博士号を得た。その後、新しい検出器の製作プロジェクトに数年携わり、2011年に完成しラン11からこの新しい検出器を使用して実験データを取ることに成功している。現在は、実験データ解析、プレリミナリーの取得を経て論文を執筆し、現在は論文の公刊待ちである。H氏は論文の共同議長を務めた。

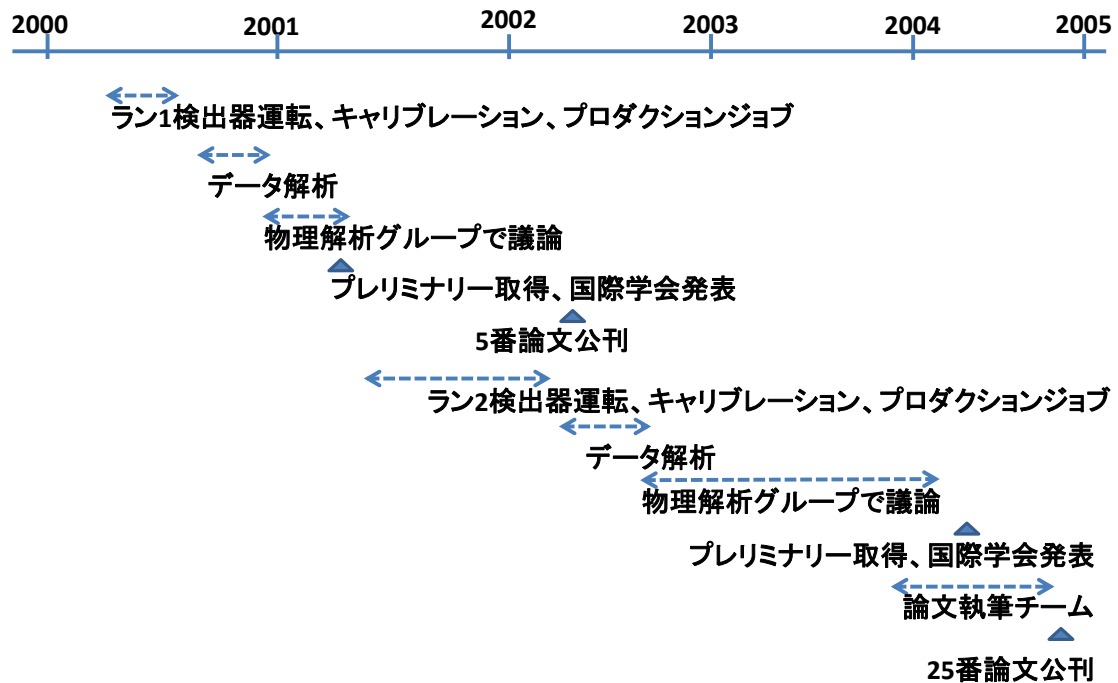


図 3-16 5 番・25 番論文のスケジュール

出典：筆者作成

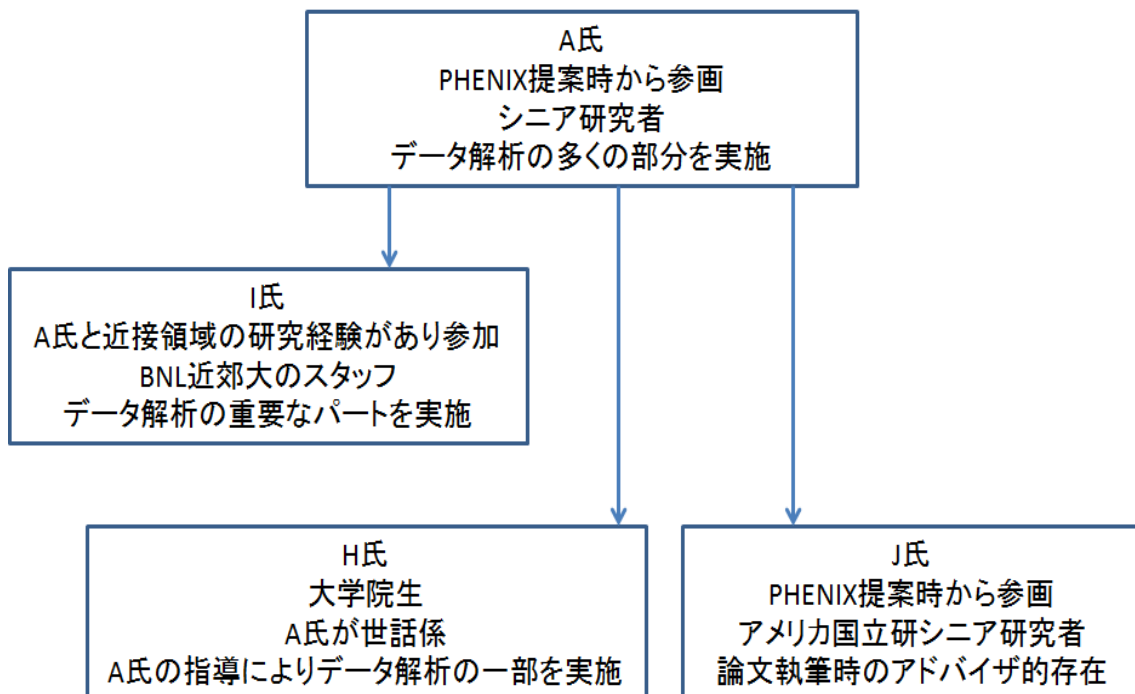


図 3-17 5 番論文の執筆体制

出典：筆者作成

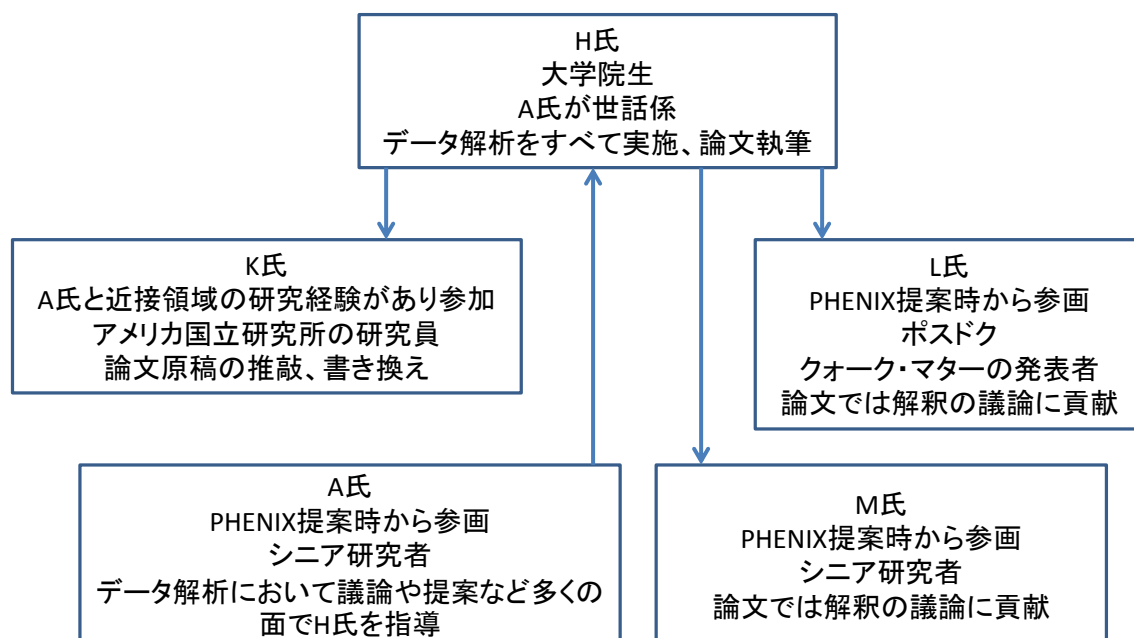


図 3-18 25 番論文の執筆体制

出典：筆者作成

3.11 発表論文の科学計量学的分析

自然科学の研究は、知の創造活動であり、その成果として論文が発表される。科学者は論文を発表することで、同僚たちからの認知を得る（バーンズ，1989）。PHENIX グループでは、15 か国から 500 人以上の研究者、技術者、研究支援者が普段は各所属機関に散らばって研究を進めており、2000 年以降 2014 年 12 月現在に至る約 14 年間で 140 報の論文を発表している（図 3-19 参照）。現在の科学計量学において、著者及び著者群と文書及び文書群の 2 つが主要分析単位と言われており、これらを元に、著者、制度、コミュニティなどの間の比較をすることができ、また社会ネットワークのさまざまな技術的方法を用いてその基盤となる構造を分析することができる（ライデスドルフ，2001）。本節では PHENIX グループ全体での論文群の構造をマクロに分析することを目的として、自己引用分析を行った。

3.11.1 調査方法

自己引用分析の具体的な方法として、PHENIX グループの研究成果として発表された研究論文 140 報の末尾に掲載された引用文献を参照し、PHENIX グループ自身の論文を抽出した。その際、未発表のため雑誌名・巻号が未確定、もしくは PWG の番号が未記載の場合、該当論文を確定不可能だったため、参照していない。

3.11.2 分析の準備

付録 4 は論文 140 報の一覧、図 3-19 は投稿した年毎の論文投稿数推移、図 3-20 は論文投稿数の種類別遷移である。図 3-20 を見ると、2007 年を境に、速報性を重視の Physical Review Letters から、Physical Review C・Physical Review D・Physics Letters B・Nuclear Physics A というフルペーパーへの投稿数が逆転していることが分かる。実験が進み、ページ制限のある Physical Review Letters では研究成果を書ききれないという要因があると思われる。継続的に論文を生産している状況である。

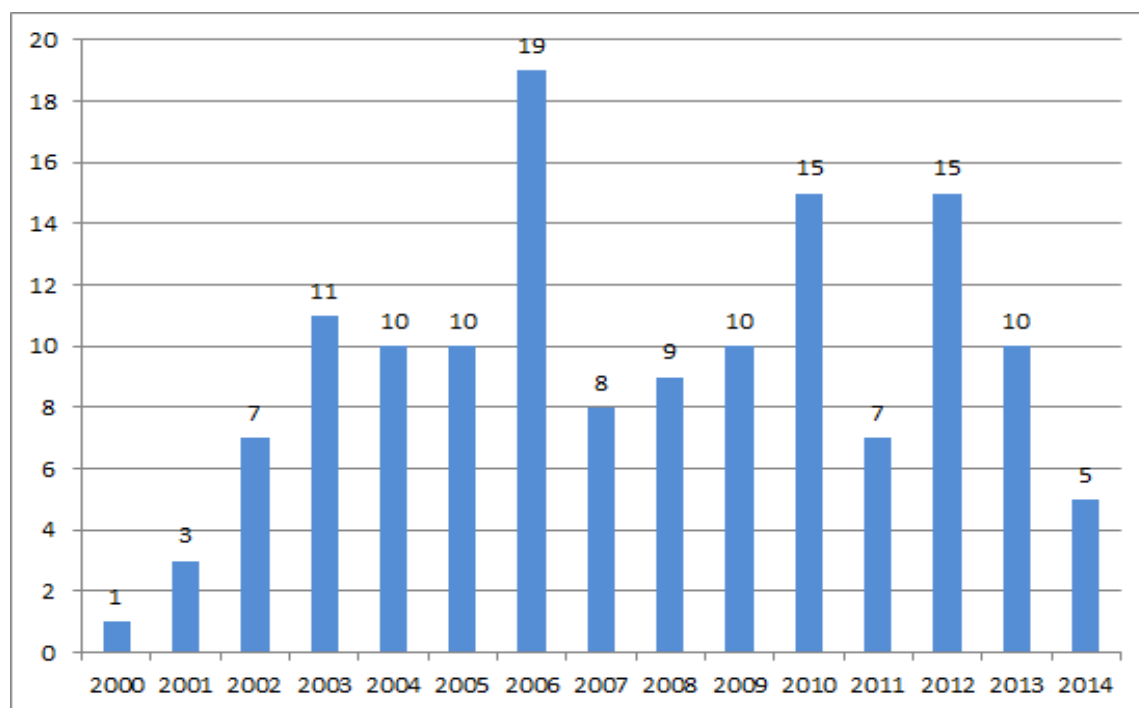


図 3-19 論文投稿数の推移

出典：PHENIX グループサイトより筆者作成（2014 年 12 月時点）

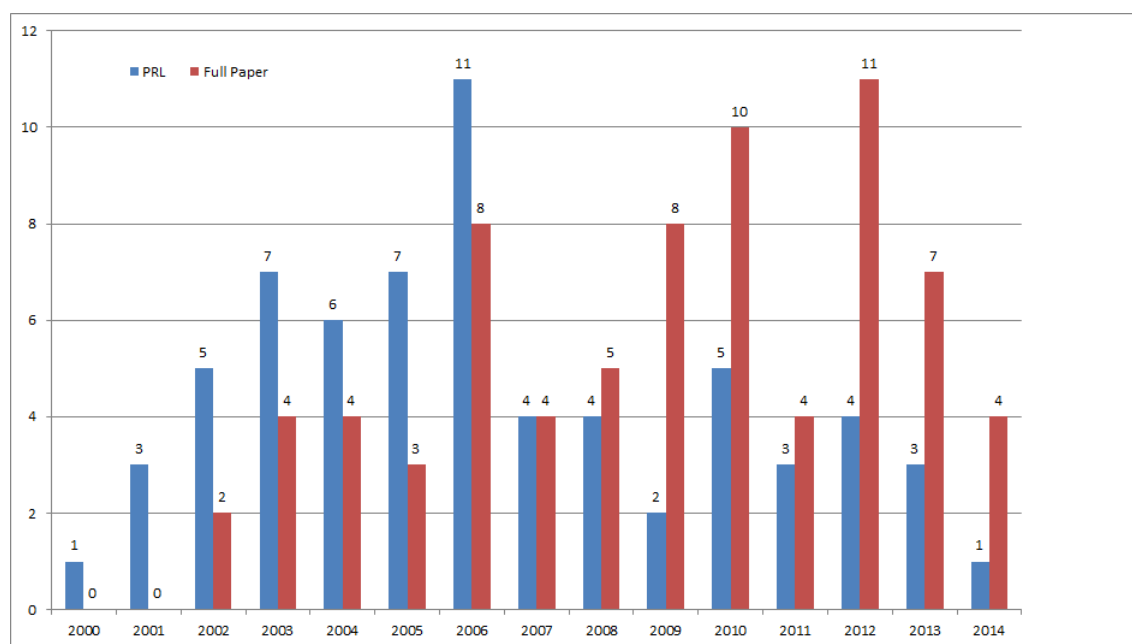


図 3-20 論文投稿数の種類別遷移

出典：PHENIX グループサイトより筆者作成（2014 年 12 月時点）

3.11.3 自己引用分析

まず、PHENIX グループの論文 140 報について、自己引用の状況を明示し、PHENIX グループがいかに知識を蓄積しているかを論じる。そもそも科学者は、先人の知見を尊重し、同じ実験をもう一度繰り返す無駄を避けて知的遺産を享受するため（窪田，1996）、引用対象の内容を参照し、引用主体の主張が正しいことを示すために引用は行われる（ザイマン，1981）。ザイマン(1981)は、科学論文には他人の実験、計算、観測、理論などからの「引用」、「参考文献」が多く含まれ、激しい競争がある反面、高度に「協力的」なものの証としている。PHENIX グループにおいても、データ解析の段階までは激しい競争があり、グループ全体の実験結果として承認を得るまでは、メンバー同士のオープンな競争が行われている。実験結果の承認をプレリミナリーと言う形で得ると、時にはそれまでの競争相手も含んで PPG が結成される。論文を具体的に執筆する段階において、PHENIX グループ内の論文は積極的に引用され、グループ内の「協力的」な状況を推測することができる。公刊が未定であっても、“not yet published”という注釈つきで、自己引用が行われている。また、引用分析によって科学論

文のネットワークを考察することで、リサーチ・フロントが明らかにできるが（プライス、1970）、PHENIX グループがリサーチ・フロントをいかに積み上げているかを分析する。

論文 140 報の引用文献から PHENIX グループの論文を抽出することで、自己引用一覧（付録 5）を作成した。縦軸に被引用論文番号、横軸に引用論文番号を設定し、論文の中で引用されている参照番号を該当欄に記入した。このデータを元に、図 3-21 の自己引用ネットワークを作成した。

自己引用の関係線が大量に結ばれていること、引用数の多い論文番号が大きく表示されていることから、個々の PWG・PPG で主に進められた研究成果は PHENIX グループの研究成果の一つ一つを積み重ねて、大きな研究成果に着実に近づいていることが直感的に分かる。論文は PPG 毎に執筆を行っているが、その結果を見ると PHENIX グループとして密に連携していることも明らかである。実際、自己引用されていないものは 2008 年以降の比較的発表が新しい 20 報に限られる。

また、自己引用されている数が多い論文は、PHENIX グループとして重要な論文で、それ故に後続の論文で頻繁に引用されていると考えられる。例えば、自己引用数が 20 を越える物は、1 番、3 番、12 番、13 番、15 番、16 番、20 番、21 番、31 番の 9 報が存在する。1 番、3 番、12 番、13 番、15 番、16 番に関しては、加速器・検出装置が完成して PHENIX グループの実験開始から間もない時期に発表された論文であるため、重要なデータが得られた時に速報性を重視して Physical Review Letters に発表されたと推察する。

特に 1 番は、二つ原子核を衝突させた時にできた粒子数・粒子の散乱状況・放出されたエネルギーの相関を明らかにしたものであり、1 番論文の内容が PHENIX 検出器の基準となり、その後のデータ解析・論文に結びついている⁸⁴。知識の積み重ねを象徴する論文となっている。

20 番、21 番は実験開始以降ある程度まとまったデータ解析の詳細を発表するために、本文のページ制限がない雑誌である Physical Review C を、投稿先として選んだと考えられる。31 番は、実験開始後 4 年間の総まとめをした論文であるため、126 ページと長い上、自己引用も 3 位になっている。PHENIX グループ

⁸⁴ W 氏インタビュー（2015 年 4 月 8 日）。

プの A 氏が、長い論文は書くのも大変であるが、節目毎に丁寧に説明したフルペーパーを書くとインタビューで語っていた⁸⁵ことを、これらの結果は裏付けるものである。科学研究の蓄積性が明確に把握できる。

⁸⁵ A 氏インタビュー（2014 年 10 月 21 日）。



図 3-21 PHENIX グループ論文の自己引用ネットワーク
出典：Cytoscape を使用し筆者作成⁸⁶（2014 年 12 月時点）

⁸⁶ Cytoscape は、欧米の研究機関によって開発されているオープンソースのネットワーク可視化ソフトウェアプラットフォームである（www.cytoscape.org/, 2014 年 11 月 30 日アクセス）。

多数の自己引用がどのような相互関係を持っているのか明らかにするために、プレスリリースを行って発表した 86 番論文、“Enhanced production of direct photons in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV and implications for the initial temperature”を具体例として取上げる。86 番論文は、3.10.1 節で PHENIX グループの代表的論文を生産した事例として取り上げたものであり、2010 年 3 月に Physical Review Letters で発表された全 6 ページの論文である。この論文を中心に執筆した A 氏によると、ここで発表した研究成果は PHENIX 提案時から狙っていたテーマである。1991 年の実験計画提案、2000 年の加速器稼働を経て、2002 年に光子を測定するアイディアによってテーマが解決できることを A 氏が思いつき、2002 年の実験データで試行錯誤を行い、2004 年の実験データを元にこの論文をまとめた 2008 年まで、段階を追って 86 番論文の研究成果にまで近づいている。また、著者リストを除いた本文は約 4 ページ以内というページ数制限がある Physical Review Letters ではデータ解析等を詳細に記述できず、86 番論文を補強する形でフルペーパーである 87 番論文も 2010 年 3 月に発表された。87 番論文のタイトルは、“Detailed measurement of the e+e- pair continuum in p+p and Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV and implications for direct photon production”で、Physical Review C に発表された全 56 ページの論文である。

86 番と 87 番が引用している PHENIX グループの論文、また 86 番と 87 番を引用している PHENIX グループの論文を、階層構造が分かる形のネットワークで表現したものが、図 3-22 である。下に位置する論文が、上に位置する論文を引用している関係になっている。また、86 番と 87 番はお互いを引用し合っている。

PHENIX グループ論文一覧 (http://www.phenix.bnl.gov/WWW/talk/pub_papers.php, 2014 年 12 月 1 日アクセス) から自己引用一覧(付録 5)を作成し、その結果を Cytoscape に取り込み表示した。

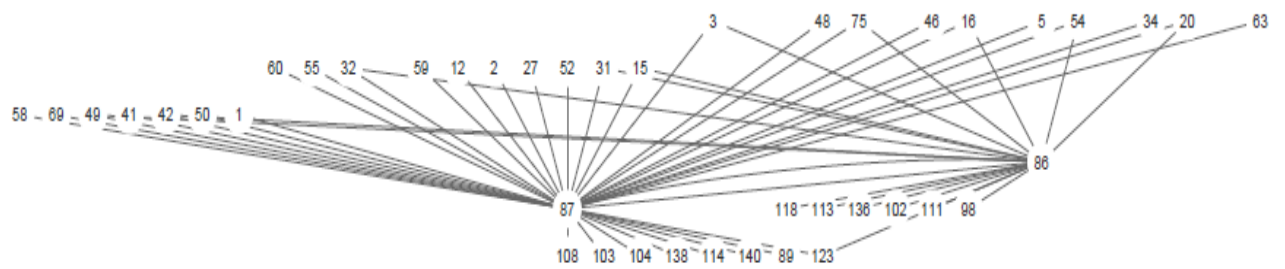


図 3-22 86 番と 87 番の論文に注目した自己引用ネットワーク

出典：Cytoscape を使用し筆者作成⁸⁷（2014 年 12 月時点）

86 番と 87 番が共に引用しているのは、1 番、3 番、15 番、16 番、20 番、31 番、32 番、54 番、75 番の 9 論文である。この中で、自己引用数が 20 を超える物は、1 番、3 番、15 番、16 番、20 番、31 番の 6 報が存在する。このことから、初期の PHENIX グループの主な成果を引用で抑えた上で、86 番・87 番の重要な研究成果が成立していることが窺える。また、86 番と 87 番の論文は、PHENIX グループにとって重要な成果であることを裏付けるように、それぞれ 8 報・9 報と後続の論文で引用されている。

このように、執筆時期や主要執筆メンバーの異なる論文であっても、PHENIX グループ内の自己引用は多数行われている。蓄積された知識・形式知である論文を元に、新たな論文を創造しているプロセスが読み取ることができる。すなわち、時間を越えて PHENIX グループ内で協調しているのである。各研究者が競争しながらデータ解析をし、論文を執筆しているものの、全体として PHENIX グループの論文であることが徹底されている。自己引用数は少ないものの小さな成果をまとめた論文を頻繁に発表しつつ、節目には重要な成果を論文として取りまとめていることが、自己引用分析からも確かめられたと言えよう。

PHENIX グループが発表した 140 報の論文は、それぞれデータ解析を議論した 3 つの PWG に分類ができる⁸⁸。しかしながら、PWG を跨るテーマが存在したり、執筆期間も異なっていたりするため、各 PPG の相互作用を検証するのは困難である。本節における自己引用分析を通じて、独立している個々の論文がそれぞれ

⁸⁷ 図 3-21 より 86 番と 87 番論文に関わる箇所を抽出。

⁸⁸ PHENIX グループ(2013) Physics Working Groups、<https://www.phenix.bnl.gov/pwg.html>, 2014 年 11 月 30 日アクセス。

密に繋がっていることが明らかになった。また、引用が何段階にも行われている状況を見ると、執筆メンバーや執筆時期に関わらず、PHENIX グループ全体として論文を蓄積している様子、また論文を蓄積することが研究成果である知識を蓄積していることに直結する様子が見て取れた。

さらに、1 番目の論文が発表されてから、140 番目の論文が出るまで 14 年が経過しているが、年に偏った傾向は見られない。最近の論文であっても、古い論文を引用している。このことから、実験開始当初から複数のテーマが脈々と続き、継続的に知識を蓄積していること、グループ内で 1 本の論文の執筆という競争を繰り返しながら、長期的な視点では時間を超越してグループ内で協調していることが推測される。

3.12 著者分析

PHENIX グループが発足以来 2014 年 12 月までに公刊した論文 140 本について、著者名とその所属機関を一覧にまとめた。その結果、登録されている著者の総人数は 880 人、1 本当たりの著者数平均は 380 人であった⁸⁹。また、各論文の著者数推移は図 3-23 の通りで、論文の特質によって著者数の幅が約 200 人近くある。実験が進むにつれて、著者数が増えている傾向が分かる。

前節で述べたが、31 番は、実験開始後 4 年間の総まとめをした論文であるため、初期の論文の中では一番が多い 510 人が著者である。単発的に PHENIX グループに携わった関係者も含めて、著者として扱っていると思われる。

⁸⁹ 姓の表記誤り・ミドルネームの有無・同姓同名などは考慮できていない。

人

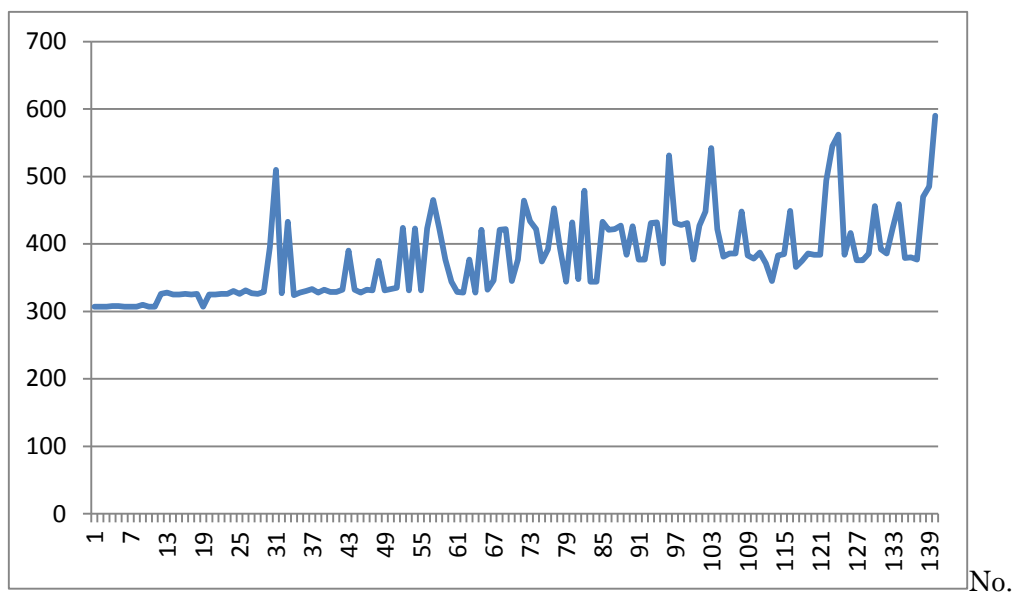


図 3-23 PHENIX グループ論文の著者数推移

続けて、880 人が 140 本中何本の論文著者として登録されているかを分析したのが、図 3-24 である。実験立ち上げ期の 2001 年から 2003 年を除くと、毎年論文は 10 本前後生産されている状況である。PHENIX グループの論文 3 本に名を連ねる人が 73 人、13 本には 63 人とピークができて一方、140 本全てにおいて著者である人が 115 人存在する。これは、PHENIX グループの在籍期間が 2-3 年と短い人が多い、他方、継続的に貢献する人も多い、という事実がある。在籍期間が短い人は、学生・ポスドクが大きな割合を占めている。140 本全てにおいて著者である人は、主にアメリカの国立研究所所属か、大学等でテニユア資格を持ったシニア研究者であると考えられる。

なお、科学者は国際志向が強く流動性の高い労働者であるが、科学者のキャリア・パスは圧倒的に個別国家のコンテキストの中で形成される(トーブス, 1988)が、日本人メンバーの場合、日本の大学・研究機関で次の職を探すことが多く、結果として他分野へ転出する例も少なくない。

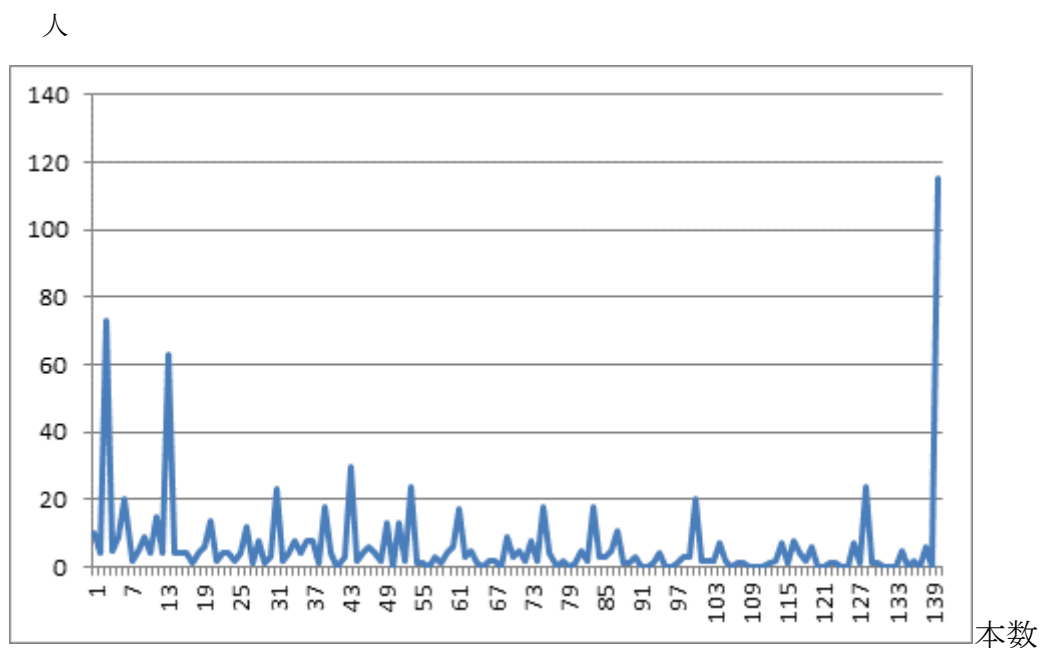


図 3-24 PHENIX グループ論文の著者本数分布

メンバーの中には、PHENIX グループ内に学生の時から参加して、ポスドクやテニユアポジションを得ている研究者も数人いる。しかし、PHENIX グループの主力メンバーは 115 人の主にシニア研究者で固定化しており、ポスドクや若手研究者が PHENIX グループに継続して参加できるポジションを見つけることが困難であるため、他のグループや分野に転出することが多い。また、PHENIX グループと STAR グループの間で、研究者が異動することもある(金田, 2003)。PHENIX グループ主力メンバーの新陳代謝が悪くなっていることがインタビューで報告された⁹⁰。

著者本数分布においても、PHENIX グループで 1 本から 35 本までの著者になっている人数が 342 人であり、PHENIX グループの在籍年数が短い層は約 4 割という結果と、一致している。ただし、PHENIX グループが研究者を長期間惹きつけている、とも言える。

⁹⁰ N 氏・X 氏インタビュー(2015 年 4 月 2 日)。

3.13 科学者のトレーニングを行う場としての

PHENIX グループ

「ビッグ・サイエンスの世界では、頻繁に引用される論文を書くようになるものは、キャリアの早い段階から引用されており、この事実は、そうした著者の最初の受容が大学院時代から持ち越されてきた学問的ネットワークによって強く偏向していることを示唆している」とフラー(2000, p. 112)は述べているが、博士課程、早いものでは学部生が大学教員等の誘いを受けて PHENIX グループに関わるようになると、検出器の製作や検出器運転中の当番をこなしたり、PHENIX グループのデータ分析を始めたりし、論文発表を目指す。「装置や機器に縛られるという意味で（研究テーマ選択の）自由度が少ない（伊藤，2009b, p. 80）」が、学生は研究室を選ぶ時点で研究テーマもある程度選択していることになる。

PHENIX グループ全体で、査読付き論文は 2014 年 11 月時点で 140 本発表されている。また、それとは別に、PHENIX グループでの実験を元にした博士論文が 137 本(図 3-25 参照)、修士論文が 9 本(図 3-26 参照)発表されている。これは、継続的に学生を教育する場として、また新しい科学的に成果を途切れなく産出する場として、PHENIX グループが大いに機能していることを示している。ただし、PHENIX グループとしての審査はなく、学位記授与は各機関に任せている。PWG や予備的承認会議の発表前に、各機関で別途学生の指導を行っていることも多い⁹¹。

⁹¹ W 氏インタビュー(2015 年 4 月 8 日)。

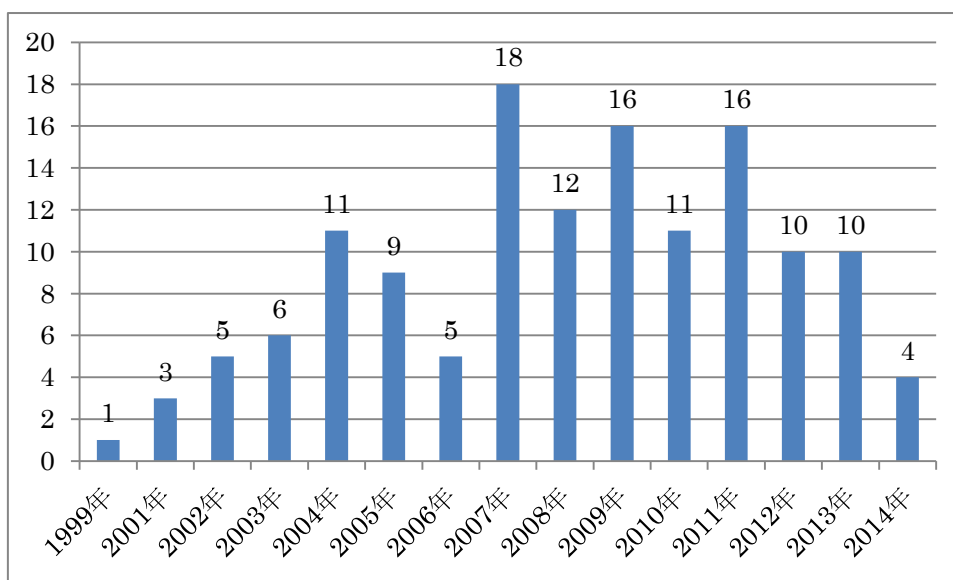


図 3-25 PHENIX グループメンバーの学生による博士論文数
 出典：PHENIX グループ博士・修士論文一覧⁹²より筆者作成
 (2014 年 3 月 26 日時点)

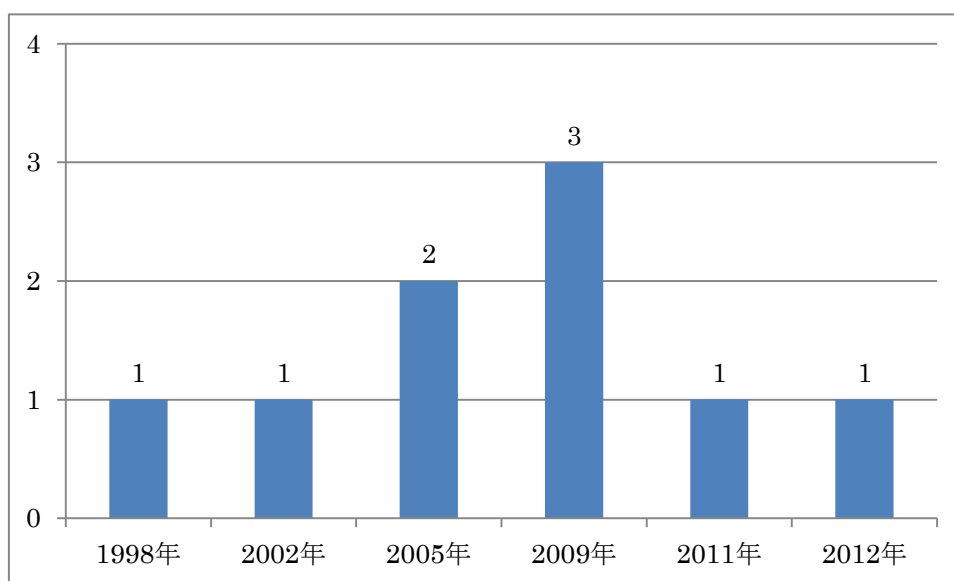


図 3-26 PHENIX グループメンバーの学生による修士論文数
 出典：PHENIX グループ博士・修士論文一覧より筆者作成
 (2014 年 3 月 26 日時点)

⁹² PHENIX グループ博士・修士論文一覧、<http://www.phenix.bnl.gov/WWW/talk/theses.php>, 2014 年 3 月 26 日アクセス。

学生は、学部 4 年で研究室に所属して、専門分野の掟を学ぶことになる。教員・先輩・同僚・査読誌・学会を通してである。新たに実験に参加する研究者・学生は、高エネルギー物理学の「見えない大学」に入会し（クーン，1971）、訓練を積むことでグループのメンバーになる準備を行う。

BNL に滞在する際、シニア研究者は人を交流させる物理的配慮をする。まず、ガラス張りの共有スペースの横を通らないと、自分の机にたどり着けないよう研究室が配置されている。プリンターを共有スペースや図書館に置き、何かを印刷するたびに必ず誰かと交流が発生する配置がされている。また、若手は個室ではなく複数人で 1 室を割り当てている。このように、自然に交流を促進させられるよう、執行部が考慮する。例えば体調を崩して出勤してない場合は、気づいた人が様子を見に行ったり病院に連れて行ったりするなど、特に若手に対する防御ネットは働いている。在室中はドアを開け、交流を促しつつも集中できる配置になっている。どうしても集中したい時は、ドアを閉めることも可能である。こうしておく、廊下を通る際に、他の研究者の顔や状況を覗くことができる。また、若手がシニア研究者の部屋を気軽に訪問することができる。ただし、BNL 物理部門の場合、物理部門長の部屋だけは、秘書を通さないと顔を見ることはできない作りである。

また、PHENIX グループが実験している BNL は NY 州郊外に位置するため、ある意味閉鎖的な環境で合宿のような形で過ごすことで、公私共に研究グループの掟を身につけることになり、暗黙知の共有が促進される。食事や各種イベント、英語のサポートも研究グループで行われるし、滞在中のアパートも研究グループで手配される。実際食事やソフトボールの試合待ち中など、研究の話で盛り上がっている場面に何度も出くわした。特に日本人にとっては、研究グループがきめ細かに公私共々面倒を見てくれるので、初めての海外にしてはハードルが低い。

以上のように公私共に研究グループに頼らなければいけない環境であるため、BNL を訪れる研究者は研究グループの仲間・競争相手グループの仲間・学会・ミーティング・他分野の仲間（理論物理グループ・加速器グループ）に囲まれながら、研究グループの知識世界にどっぷり浸ることとなる。

よって、グループの掟に添えなかった人、他の可能性を見出した人、博士号

を取ることができなかった人は、この分野の研究から転出することになる。学生、ポスドクの場合は、安定した職業を求めて、PHENIX グループを去ることも多い。自然淘汰といえるのかもしれない。違う物理の分野、違う学問分野へ、アカデミックの世界からも転出して、民間へなど様々な進路が選択される。

3.14 知の創造プロセスの分析結果

PHENIX グループについて、歴史・外部要因・小事例・科学計量学の様々な側面から分析してきた結果を、役割分担・知の創造プロセス・モチベーションとインセンティブの3つの視点から以下に整理する。

3.14.1 役割分担

良い研究成果を創出し続けるために、PHENIX グループとしては良い人材を確保し、活発に研究することを促進する。PHENIX グループの人材としては、シニア研究者・中堅研究者・ポスドク・学生がいるが、階層構造は存在せず、命令系統もない。あくまでも、自発的組織に個人の意思で参加し、自由に意見を言い合う形態を取っている。メタファーとして、議院内閣制を選択している民主主義の国に例えることができる。特に中堅研究者・シニア研究者は自分の得意な技術・知を活かした適材適所の役割分担が自然に行われ、グループに貢献している状況が観察された（図 3-27 参照）。約 500 人から構成される実験グループで一つの装置を作るのに 10 年かかる規模のため、一人の研究者が全てを把握し研究を進めることが困難である。よって、適材適所に合わせた分業化・民主的な運営が進んだと考えられる。

シニア研究者は、実績や能力によって自発的に担う役割・周囲が期待する役割がある程度固まっている。若手研究者や学生はキャリア開発の途上であるため、データ解析・検出器製作・プロダクションジョブのサポートなど自発的に様々な仕事を経験するよう促される。ただし、シフトのみ取得して、その他の PHENIX グループの仕事を行わない場合も、論文著者になることができるし、グループから除籍されることもない。

中岡(1971)は、素粒子の実験を行う科学者は自分に割り当てられた時間にどれだけのエネルギーのどのような種類のビームが欲しいかを言えば、必ずその

時間にその特性値をみたすビームが得られるように研究所の数千人の補助労働者の労働は組織されており、実験物理学者もペンチやハンダごてからついに完全に解放されたと述べている(1971, p. 192)が、PHENIX グループにおいては事情が異なる。加速器のビームを供給するのは BNL の加速器部門であり、よりよいビームを安定的に供給するための研究が行われている。また、PHENIX グループメンバー自身検出器を製作するのに力を注ぐフェイズも存在したので、加速器実験の中で研究者を主労働者と補助労働者に分けて考える傾向は、インタビューにおいても察知できなかった。加速器・検出器運転の終了時には、加速器部門を労うパーティーが行われていることから、友好的な協働作業であると認識している。

PHENIX グループには、主に 3 つの能力を持った分業が行われている。解析屋はデータ解析を担い、物理研究の論文を執筆する。特に大学にいるポスドクや学生は、検出器製作のタイミングと合わないことが多いので、検出器のユーザーになって論文を書く仕事をする。コンピュータ屋は、計算量が膨大な PHENIX においてキャリブレーションやプロダクションジョブ時のデータ処理・解析を支える仕事をする。研究者とエンジニアが半々で、シフトを取れば PHENIX 論文の著者になるが、コンピュータ屋として技術的なテーマの論文も書く。装置屋は研究者・エンジニア・テクニシャンがいて、シフトを取れば PHENIX 論文の著者になり、装置屋として技術論文も書く。装置の製作は専門性を持った人物が長時間没頭することが必要であり、装置屋の評価は一緒に働かないと分からない。基本的に解析屋でないと博士号を取れないので、学生・若手研究者は解析屋から始めることが多い。装置・コンピュータ関係が得意でそれらの仕事に特化していくと、装置屋・コンピュータ屋になる。装置屋・コンピュータ屋は研究所に所属することが多い。

シニア研究者にはさらに、PWG や論文投稿案に対するコメント等、保有する知識・知恵を活用して、PHENIX グループ論文の品質向上や若手への教育が期待されている。PWG の幹事は、物理の研究として品質を保証するために、PWG の場で質問を積極的に投げかけ、議論を盛り上げるように努める。また、執行部のメンバーとして PHENIX グループのマネジメントを担うシニア研究者も多い。シニア研究者自らがデータ解析を進めることは、あまり多くない。

研究者は自分の研究成果を出し業績を積むために PHENIX グループに参加する

ので、PHENIX グループの繁栄が自分の利益にも繋がる。そこで、よりグループが反映して自分の利益が増えるように、自分が貢献できる方法を見つけて役割分担が行われ、自発的に PHENIX グループの仕事を行う。

	シニア	中堅	ポスドク	学生
執行部	○	×	×	×
幹事／コーディネータ	○	○	×	×
データ解析	△	△	○	○
実験データキャリブレーション・プロダクションジョブ	△	△	△	△
検出器製作	△	△	△	△
シフト(義務)	○	○	○	○

図 3-27 PHENIX グループ内の役割分担

出典：筆者作成

3.14.2 知の創造プロセス

実験の提案・デザインは、全世界から応募を受け付け、実験選定委員会により複数の実験提案グループが合併させられることで、PHENIX グループが誕生した。PHENIX グループでは、Y 氏のインタビューで語られた通り代表となる大学・研究機関が存在しなかった上、一つだけで実験が成立する検出器ではなく、複数の検出器を統合しなければ実験が成立しない体制となった。

PHENIX は基本的に大学の先生がやっているじゃないですか。普通はもっとホスト機関が強いものだと思いますけれどね。

(Y 氏インタビュー：2015 年 4 月 1 日実施)。

また、専門分野が異なる研究者が集まって PHENIX グループが成立していることが、W 氏のインタビューから分かる。

文化の違う人が集まった可能性はある。原子核物理の人と高エネルギー物理の人が混じっている。PHENIX 割と寄せ集めなので。

(W氏インタビュー：2015年4月8日実施)。

参加者全員の満足度ができるだけ高くなるように実験を進める方針は、メンバーの人数が多いことに加え、ホスト機関がなく専門分野が異なるメンバーで構成されるグループの成立ちに起因しており、検出器の設計・組織体制・運営方針・論文生産システム全てに影響を与えていると考えられ、必然的に民主的な意思決定方法が選ばれたと言えるだろう。

他方、民主的な意思決定方法に対して疑義を抱いている研究者も複数存在する⁹³。全員の合意を得ないと論文を投稿できないため、グループ内を説得するのに時間がかかるし、先鋭的な論文を発表することが難しい仕組みである。

民主的に意思決定するために、知の創造プロセスも各段階のルールが多くは文書化されている。インタビュー・データと収集した文書を質的データ分析用ソフトウェア MAXQDA に取り込んだ後、各実験フェイズにおける参加者、場、状況に着目し分析をした結果を、表 3-5 に PHENIX グループの知の創造プロセスとしてまとめた。「検出器製作・アップグレード」から「論文発表最終決定」までは、複数回繰り返されている。PHENIX グループ論文の自己引用分析結果でも明らかになったが、毎年継続的に研究論文が生産される中、各研究論文が複数の新しい研究論文に参照され、新たな形式知を生み出す、蓄積的・拡散的な知の創造プロセスである。

表 3-5 PHENIX グループの知の創造プロセス

	参加者	場	状況
実験提案	全世界から希望者	各機関での議論	提案者毎の競争
検出器製作・アップグレード	参加機関から提案、希望者が参加	各機関・BNL が連携しての作業	参加者の協調
検出器の運転・各検出器からのデータ収集	シフトは全メンバー 検出器の運転・データ収集は製作機関が責任を持って実施	BNL のカウンティング・ハウスに人が集まり、一体感	全メンバーの協調

⁹³ O氏インタビュー(2011年5月12日)・P氏インタビュー(2011年5月18日)・Y氏インタビュー(2015年4月1日)。

集		が生まれる	
実験データキ ャリブレーション・プロダク ションジョブ	各検出器のデータは検出器製作機関が 責任を持って実施 プロダクションジョブは専用チームと ボランティアメンバーが実施	BNL・各機関での 作業、目標に向か って一致団結	全メンバーの協 調
データ解析	希望者	各機関・BNL・TV 会議での議論	個人・チーム・機 関の競争 メンバー間の協 調もある
予備的承認会 議	希望者の中から競争を勝ち抜いた者	公式な場での議 論	個人・チーム・機 関の競争 メンバー間の協 調もある
学会発表	発表者事務局の推薦を勝ち取った者	PHENIX グループ の成果発表の晴 れ舞台	個人間の競争
論文執筆	希望者の中から競争を勝ち抜いた者と 執行部から指名された者	内部ウェブサイ ト・メーリングリ スト・TV 会議等 バーチャルな場 を利用した議論	全メンバーの協 調
論文のレビュー／投稿論文 の内部審査	論文執筆チーム、内部レビュー委員会、 全メンバー	内部ウェブサイ ト・メーリングリ スト・TV 会議等 バーチャルな場 を利用した議論	全メンバーの協 調
論文発表最終 決定	PWG 幹事・グループ代表者	公式な場での議 論	全メンバーの協 調

出典：筆者作成

実験提案の段階は、理論物理学者も含めたこの分野の研究者コミュニティー

で長時間をかけて議論されたものであり、検出器建設前に終わっているので、本研究の主要な議論からは対象外とした。

検出器製作・アップグレード、検出器の運転・各検出器からのデータ収集、実験データキャリブレーション・プロダクションジョブから構成される実験データを算出するまでの一連の流れは、PHENIX グループ全体で一つの成果物を創出するプロセスであり、「実験する」にまとめる。

続いて、データ解析、予備的承認会議、学会発表は、実験データを元に物理研究における発見事象が確定するまでの過程であり、個人や小組織単位に動くことになるプロセスで、これを「解析する」にまとめる。

最後に、論文執筆、論文のレビュー／投稿論文の内部審査、論文発表最終決定を通じて、PHENIX グループの全メンバーが協調して論文を産出する段階を「統合する」にまとめる。

これら「実験する」「解析する」「統合する」のプロセスを通じて、大量の知が創造・共有・活用されている。そこで、知の創造プロセスにおいて、生産されたデータ・情報・知識・知恵を整理する（図 3-28 参照）。データの具体例として、RHIC のビームが衝突して生成された粒子の飛跡を、PHENIX 検出器が反応して検出されたもの、それぞれの検出器からデータを収集し、衝突がどのように起こったのか、全体像をまとめたデータセット一式が代表的である。情報の具体例は、新たな物理現象を示しているグラフである。知識の具体例としては、実験で得られたデータと情報を元に、新たな物理現象を見出し、物理として体系的にまとめた論文が挙げられる。知恵の具体例は、検出器組立に置いてシニア研究者が良し悪しを判断する勘やノウハウ、実験で得られたデータと情報を元に色々な計算・統計処理を行い、シニア研究者がバックグラウンド・ノイズに紛れたピークを発見した際に働いた勘などが知恵にあたる。企業との契約における秘密情報を除き、原則すべての知は PHENIX グループ内部で共有されており、メンバーは誰でも活用可能である。

知恵
検出器を作るため・直すための勘・ノウハウ 毎年改良されてきたキャリブレーションの方法 キャリブレーション時の例外処理対応方法 データ解析をするための勘・ノウハウ PWG でシニア研究者がプレゼンテーションの内容を判断し、質問 PWG で徹底的に議論 PWG で幹事が今までの経験をもとに、若手を指導 論文案が出てきた時に論文を読んで、問題点を指摘



分類	具体例	段階
データ	検出器製作時の共有ノート	検出器の製作
	ラボノート	検出器の製作～データ解析
	個人で持っているメモ	検出器の製作～データ解析
	議事録	検出器の製作～データ解析
	DST・粒子/トラックのリスト	キャリブレーション
	衝突のデータセット一式	プロダクションジョブ
	プレゼンテーションファイル	検出器の製作～論文執筆
情報	ラボノート	検出器の製作～論文執筆
	解析ノート	データ解析～論文執筆
	プレゼンテーションファイル	検出器の製作～論文執筆
	プレリミナリー取得のためのプロット・解析結果	データ解析～予備的承認会議
知識	プログラム	キャリブレーション～データ解析
	スクリプト	キャリブレーション～データ解析
	各種マニュアル	検出器の製作～データ解析
	解析ノート	データ解析～論文執筆
	論文	論文執筆～論文発表最終決定

図 3-28 知の創造プロセスにおける知の創造・共有・活用の具体例

出典：筆者作成

ラボノートや解析ノートなど、複数のフェイズに跨る知が存在するが、「実験する」フェイズの一番重要な生産物は、実験によって得られた衝突のデータセット一式である。また、「統合する」フェイズでは衝突のデータセットからプレリミナリー取得のためのプロット・解析結果を創出する。さらに、「統合する」フェイズではプロット・解析結果を論文にまとめて最終成果物となる。よって、「実験する」フェイズを経て「データ」が得られ、「解析する」フェイズの結果「情報」に変換され、「統合する」フェイズの結果「知識」が創出されるとまとめる。

自然科学において、実験することは現象を創造し、作りだし、精密にし、安定化をはかること（ハッキング, 2015, p. 441）であり、その結果として論文を創出するが、PHENIX グループでは「実験する」・「解析する」・「統合する」全てのフェイズにおいて、シニア研究者の知恵・PHENIX グループが蓄積した知恵が活用されている。

大規模加速器実験物理学以外の分野、例えばバイオ系では研究室内でも論文生産のチームに分かれていて全体で常に情報を共有し、著者順を気にせずに研究室全体として協調的に論文を生産することは珍しく、テーマ毎のチーム内に閉じて誰がどのような役割分担を担っているかはっきりした状態で協調的に論文生産を行っていると言える（伊藤, 2009c; コールマン, 2002）。バイオ系の論文を生産する際も、「実験する」・「解析する」・「統合する」のフェイズに分かれる場合があるが、論文に関わる研究者の役割と貢献度がはっきりしていてそれが著者順に反映されるため（Knorr-Cetina, 1999; 福島, 2011）、各フェイズでは論文生産における明確で固定的な役割分担を乗り越えた「協調」・「競争」モードはないと考えられる。また、実験は小規模でかかる時間や予算が大規模加速器実験に比べて少ないため、「実験する」・「解析する」・「統合する」のフェイズ間で手戻り・やり直しが多い。必要に応じて、フェイズを跨ぐ(図 3-29 参照)。また、「実験する」フェイズを経験しても、必ずしも論文まで到達するとは限らない。

ところが大規模加速器実験の場合、予算・時間・人の多大な資源が投入されるため、「実験する」フェイズの自由度が非常に低い。実験提案は加速器・検出器の建設時にほぼ固定されていて、各年の加速器・検出器運転の内容は、予算・

時間・関係組織との調整を経て確定される。また、PHENIX グループでは、「実験する」・「解析する」・「統合する」の各フェイズを明確に分けており、その先のフェイズに進むための承認手続きが必要である。前のフェイズに限定的に戻ることはあっても、原則は後のフェイズに進むか、研究テーマを諦めるかの 2 つの選択肢しかない。「実験する」フェイズに戻る必要が発生した場合は、後年のランへ論文生産を持ち越す⁹⁴、限定的な条件の上で論文を生産し足りないデータは後年のランにおいて収集する、解析前に予想していた理論とのずれを発表する、のいずれかの選択が行われる⁹⁵。「実験する」フェイズから並行して「解析する」「統合する」フェイズを経て、複数の論文が必ず産出される。途中で行き詰る場合もあるが、全体として見れば論文は必ず生産される。巨額の投資が必要な実験であるため、投資を無駄にすることは許されず、成果物が求められる状況だからである。そして、次の実験が開始される前に、ビームや検出器の修正をした上で、持ち越された課題が解決できる状態にまで持っていく、新たな「実験する」フェイズが開始される。前回の実験結果を踏まえた上で、新しい知を積み上げるスパイラルが回るのである。

⁹⁴ 3.10.1 節の小事例が、後年のランへ論文生産を持ち越した例である。2002 年の検出器を運転した時はデータ量が足りず論文化できなかったが、2004 年の検出器運転では衝突エネルギーが増加したため、論文公刊にまで到達できた。

⁹⁵ スーパーコンピュータを使う計算科学分野も、巨額のコストがかかり限られた計算資源のためシミュレーションを繰り返すことが困難な上、多人数の研究者が参加することからビッグ・サイエンスと言えるが、小さなコンピュータでも研究の一部を実行することができる。つまり、1 人の研究者がビッグ・サイエンスとリトル・サイエンスの両方を実行できる分野である。ある計算科学研究者は、小さいシミュレーションは何回も実行すればよいが、大きいシミュレーションを流す時は準備を十分するけど、いざ実行キーを押す時は手が震えると話していた。大きいシミュレーションの実行には多大な資源を利用する責任が伴い、実行結果が予測通りにならなくても、その予測とずれた内容を論文にするとのことである。

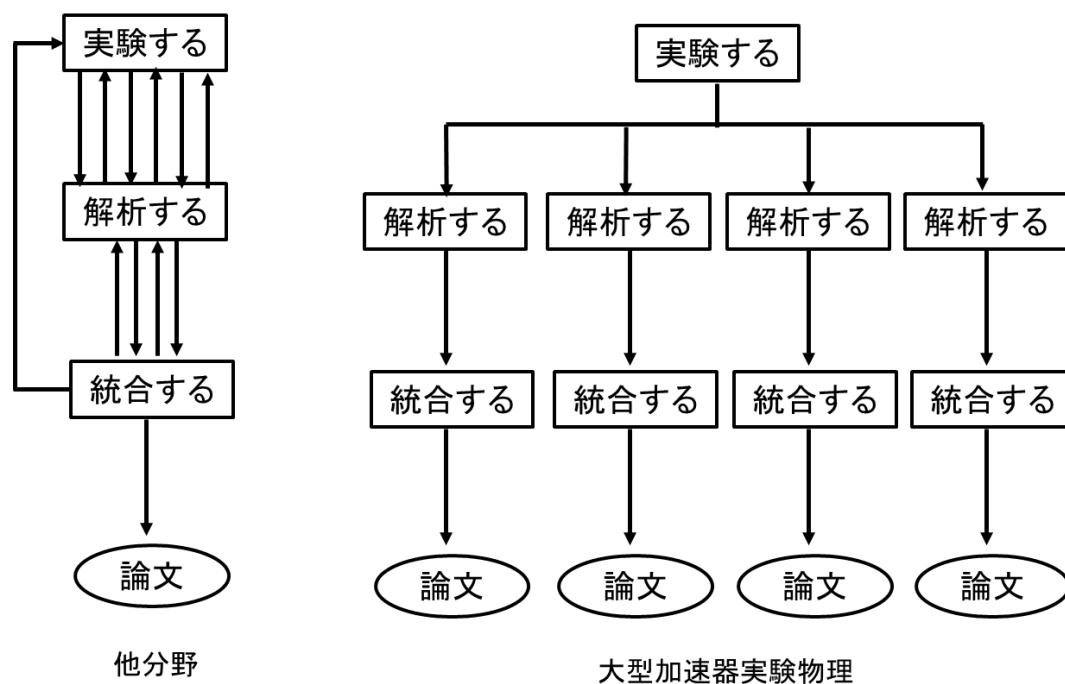


図 3-29 他分野との知の創造プロセスの比較
出典：筆者作成

表 3-6 PHENIX グループの知の創造プロセスにおける競争と協調の具体例

	競争	協調
検出器製作		各所属機関が責任を持って製作。
検出器の運転・各検出器からのデータ収集		PHENIX 検出器全体を運転するためのシフトを全員が取得。 製作したサブシステムを所属機関毎に責任もって運営。 実験を成立させるため、分業。
実験データキャリブレーション・プロダクションジョブ		製作したサブシステムを所属機関毎に責任を持って動かし、一致団結してデータセットを作成。
データ解析	解析テーマは自発性に任せて自由競争。 人気のあるテーマには複数の研究者・グループが志願し、グループ内に公開された場で競争。 建設的な競争。 テーマによっては幹事が解析担当	幹事が調整して複数のチームを一つに統合する場合あり。 学生は博士論文のために、シニア研究者は興味のあるテーマを進めるために、データ解析をし相乗効果を創出。 新しい解析を新しい検出器を使って

	を募集。 議論が平行線で結論がまとまらない時や、様々な意見が出て揉める時は、幹事が上手く采配。	行う場合、複数人で分担。 今までやったことのある解析を新しいデータセットに適用する場合、プログラムを流用して同じやり方で違う人が実施する場合あり。 データ解析を行う学生やポスドクを、所属機関や同じ解析チームの中堅・シニア研究者が支援。 激しい議論が行われ、品質を保証。
予備的承認会議	プレリミナリー取得は早い者勝ち。 先行逃げ切りを狙う場合もあり。 英語がハンディにならないように、解析の中身を深く詰めて、競争に勝利。 論文に出せる品質だなと説得できるまでの結果を出した人が勝利。	幹事達が調整。 激しい議論が行われ、品質を保証。
学会発表	重要な会議の発表者枠を争う。 より貢献度の大きい人が、より高い評価で発表者に選ばれるのが基本。	
論文執筆	政治的な配慮も含めて PPG のメンバーを PWG 幹事と執行部で決める、主著者チームの一員として認められる。	プレリミナリーを取れなかったとしても、同じテーマを進めていた博士論文執筆中の学生は考慮され、通常は PPG に加入。 PPG で相当論文案が検討され、シニア研究者がコメントをし、品質を上げた案が PHENIX グループの論文レビューに提出。
論文のレビュー／投稿論文の内部審査		皆が一目を置いてるシニア研究者がいて、その人のコメントは多くの人が確認。 誰でもコメントを出すことが可能。 全員合意しないと論文発表が不可能。
論文発表最終決定		最後の確認を実施。

出典：筆者作成

論文のテーマに直接関わっていないグループメンバーでも、大規模加速器実

験の場合は「協調」モードに参入してくる。「協調」モードは、大規模加速器実験特有のロジックであり、実験を成立させるために必須で、「実験する」フェイズでは科学研究のロジックである「競争」モードを打ち消して表に出てくる。「解析する」フェイズにおいては、大規模加速器実験分野のロジックではなく、個人のロジックである「競争」モードが前面に出てくる。このフェイズを進める組織単位が個人もしくは少人数となるため、通常の科学研究のロジックに従う。しかし、「統合する」フェイズでは、再び大規模加速器実験分野のロジックが表面化する。何故なら、実験を成立させるためにシフトを取ったメンバーは著者として登録されるため、著者の義務を果たすために原則はメンバー全員が論文の品質保証に責任を求められるからである。このフェイズでは、1本の論文の品質を上げるために、協調的に議論が行われる。

これら競争と協調の状況を整理したものが、図 3-30 である。それぞれのフェイズに関わる人数が変化するとともに、研究者の自発的な意思に基づいて研究者自身が自分の役割を再定義していく過程で「協調」・「競争」・「協調」とモードが遷移していくことが、大規模加速器実験の論文生産プロセスの特徴である。

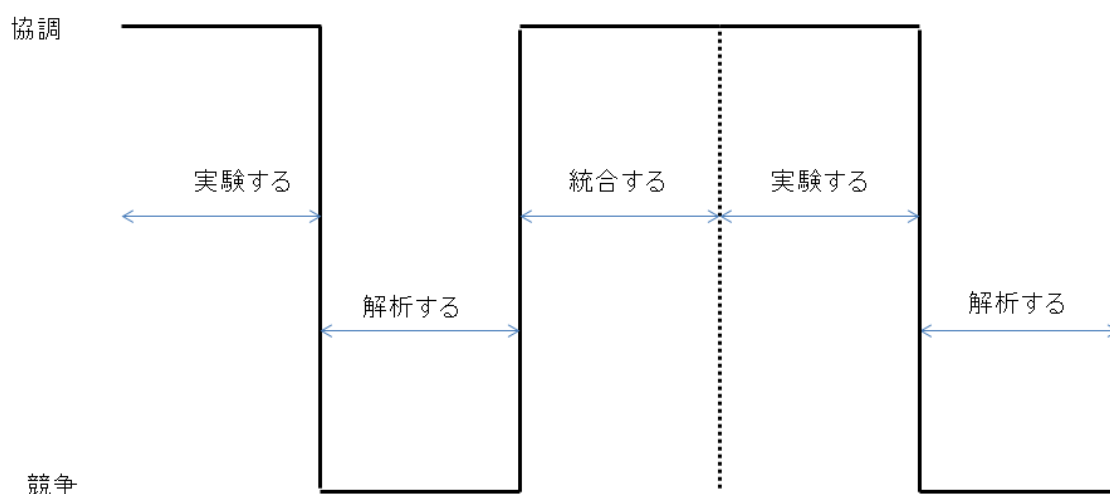


図 3-30 大規模加速器実験における「協調」モードと「競争」モード

出典：筆者作成

3.14.3 モチベーションとインセンティブ

PHENIX グループに参加した動機として、PHENIX グループの研究に興味を持った⁹⁶、指導教員が PHENIX グループのメンバーだった⁹⁷などがあげられた。メンバー全員が自分の興味・関心に従って、データ解析を行い、ひいては論文執筆を行うことが可能である。シフトを担当し、プロダクションジョブなどの追加貢献をし、PWG に参加して適宜自分の解析結果を発表し、PHENIX グループのルールに従って研究を進めれば、自分の研究成果として外部にも主張できる論文が発表でき、研究者として満足が得られる。その過程で、国際学会の発表者に選ばれるかどうかは、研究者個人の努力の範囲を越えるが、発表者事務局がグループ全体のバランスを取りながら、一部不満があるものの発表者を選出する役目を果たしている。PHENIX グループとしては、適切な報奨システムを維持するよう努めている。特に若手研究者にとっては、PHENIX グループに貢献し、自分の努力が発表者という形で報奨され、自分の業績として業界に明示することで、研究者としてのキャリアアップを図る。

また、PPG に入ることができれば、議長でなくても主著者チームの一員と認められたことになる。つまり、PPG のメンバーとして書いた論文は、自分の業績と主張が可能である。データ解析等に貢献した報奨として、主著者チームのクレジットが得られる。

若手研究者は、経験豊富なシニア研究者・中堅研究者のアドバイスを受け、やる気次第で実力を磨く機会をつかむことができる。他方、シニア研究者や中堅研究者は、研究を進めたいテーマが複数存在しても、複数の PPG の議長になるなど全て自分で手がける労力はない。そこで、若手研究者の助力を得て研究を進めることができる。執行部はコンフリクトが起こらないよう競争と協調のバランスに配慮しながら、メンバーのモチベーションを高く保てるような環境を整備することに、全力を尽くしている。

3.15 おわりに

1980 年代半ばから RHIC 建設に向けた動きが物理学者の間で始まり、2000 年

⁹⁶ U 氏インタビュー(2011 年 5 月 22 日)、M 氏インタビュー(2015 年 3 月 10 日)。

⁹⁷ H 氏インタビュー(2015 年 3 月 10 日)。

から実験を開始したが、RHIC を使った PHENIX グループのデータ収集は間もなく完了を迎える。以上のように PHENIX グループは、論文著者リスト、データ解析結果の承認、論文執筆者、国際学会の発表者をコントロールして、PHENIX グループとしての研究成果を発表することで、グループとしての研究の質を高く保つことに努めている。個々の研究者の活動よりも、グループとしての活動を優先した組織である。分業化・競争と協調のバランス・公平性の担保の 3 つの視点で、事例分析を整理する。

分業化：

PHENIX グループでは、自発的な役割分担・分業化により、効率的かつ民主的なグループ運営を実施している。物理を専門とする研究者が集まっているが、得意分野によって装置屋・コンピュータ屋・解析屋に大まかに分類することができる。自分の能力を最大限活かせる作業に手を挙げて、実験装置の製作担当、実験データ生成担当、論文校正担当等の役割分担がなされている。

論文生産のプロセスとその成果物はすべて PHENIX グループ内に公開しており、シニア研究者や PWG の幹事を任されている中堅研究者はそれぞれが保有している知識・知恵を、打合せの場・メールでの議論の場・内部ウェブサイトでの議論の場において、注ぎ込む。それらに若手が触発されて、若手自身も知識を創出することを通じ、9 段階を経て論文が生産される。PHENIX グループで創出した論文をもとに、新たな論文を創出する知の創造サイクルが存在する。

シニア研究者・中堅研究者を中心に、マネジメントの役目も担い、グループ運営に貢献している。

競争と協調のバランス：

グループ全体として共存共栄を目指しているために、競争と協調が必須である。あるシニア研究者はこの状態を「我々はファミリーである⁹⁸」と表現していた。協働体制がある一方で、同じ加速器を使う研究グループ間・グループ内研究者間の 2 重の競争が存在している。

⁹⁸ P 氏インタビューより（2011 年 5 月 18 日実施）。

協調だけではよい研究成果を生産するための要素が不足している。科学の発展には競争が促進剤として働いているが、PHENIX グループも建設的な競争を奨励している面がある。そして時には競争が内部コンフリクトに繋がっている。研究者個人の興味に従って研究テーマを選び、周囲のメンバーから助言を得つつデータ解析を進めた上で、PHENIX グループ内に公開の場で、研究進捗状況や場合によっては他の研究者と異なる主張が披露される。そして、プレゼンテーションや質疑応答の内容によって、ある論文の内部的な主著者という役割を勝ち取っていく。競争による勝負がついた後は、PHENIX グループ全体の責任で論文の品質を向上させることに結束し、グループ全員が協調してグループとしての力が注がれる。

高エネルギー物理実験以外の分野、例えばバイオ系では研究室内でも論文生産のチームに分かれている。バイオ系では、研究室全体で常に情報を共有し、著者順を気にせずに研究室全体として協調的に論文を生産することはあまりなく、テーマ毎のチーム内に閉じて、誰がどのような役割分担を担っているかははっきりした状態で協調的に論文生産を行っていると言える（伊藤, 2009c; コールマン, 2002）。バイオ系の論文を生産する際も、「実験する」・「解析する」・「統合する」のフェイズに分かれる場合があるが、論文に関わる研究者の役割と貢献度がはっきりしていてそれが著者順に反映されるため（Knorr-Cetina, 1999; 福島, 2011）、各フェイズにおいて論文生産における明確で固定的な役割分担を乗り越えた「協調」・「競争」モードは成立しにくく、「競争」モードが前面に出てくると予想される。

大規模加速器実験分野では、実験グループで実験データを整えることが大前提であり、同化圧力としてグループに影響を与えている。その下で、実験グループ独自の運営・マネジメント方法を選択し、グループの成員に示される。グループの成員としての研究者は、グループのルールに従ってグループ内部での競争を勝ち抜こうと研究を進める。実験グループは、他の実験グループとの競争に勝つための方策を実施する。以上のことから、図 3-31 のように PHENIX グループを成立させている個人と組織の関係を整理できるであろう。

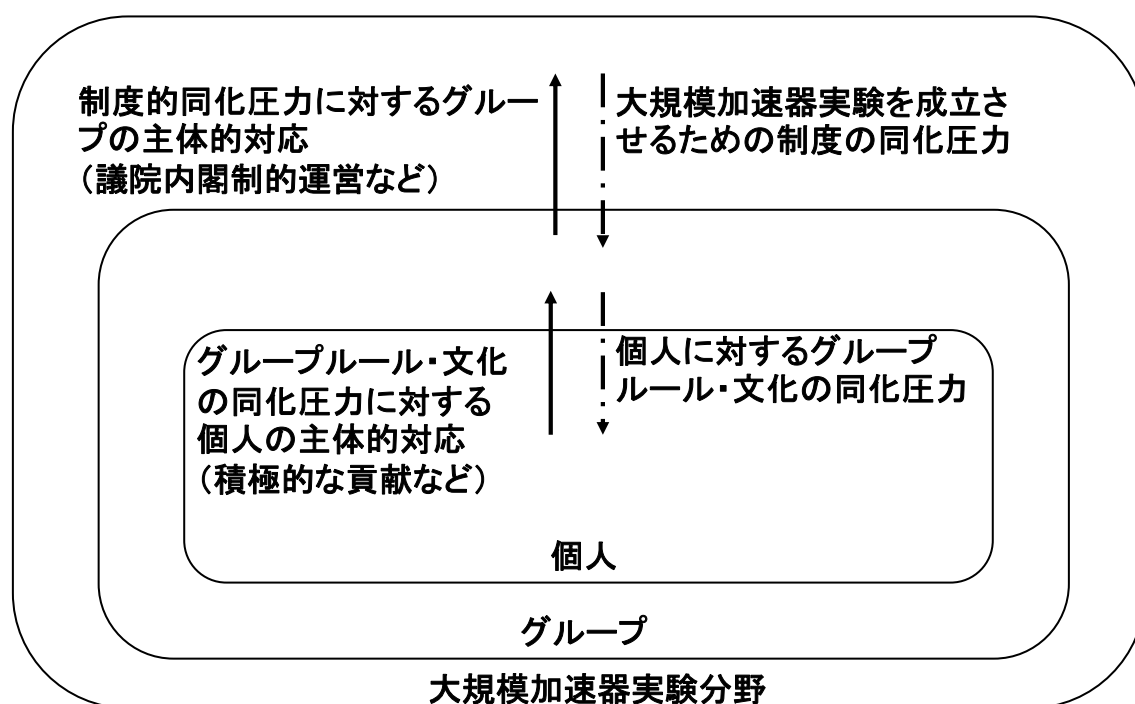


図 3-31 PHENIX グループの個人と組織の関係

出典：筆者作成

競争が行き過ぎて、PHENIX グループ内で協調的に研究が進まなくならないように、シニア研究者や中堅研究者が個人・グループにおける競争と協調のバランスを取っている。他方、全く競争がなく馴れ合いの環境に落ち込み研究パフォーマンスが下がることを防ぐために、国際学会の発表者を PHENIX グループ代表として任せることで、個人への報奨の機会を明確に設定している。しかしそこには、内部コンフリクトに繋がる不明瞭な基準をはらんでいる。また、科学者集団は業績（例：科学論文）と報酬の対応を中心に、科学者の行動、ネットワークが決まる構造をもつと考えられるが（松本，2016）、PHENIX の内部では協調と競争のモードの間で揺れ動いている。

公平性の担保：

新たな研究者が PHENIX グループに加入すること、研究者が PHENIX グループで長く活動すること、研究者が良い成果をあげることを促進するために、グループメンバーに公平な機会を担保する仕組みを構築している。

複数のインタビューによれば、このシステムは、他の大規模物理実験グルー

プの例を参考に、PHENIX 研究グループに適するよう初代代表者が構築したものが土台となっているとのことである。PWG・PPG・IRC・PHENIX グループ全体と、慎重すぎるとも言える四重ものプロセスを経て論文が生産されている。いきなりグループ全体の数百人で議論するのではなく、少人数での議論を積み重ね、その上で全体の合意を得ている。データ解析までの段階では、実際に解析をしている研究者が PWG で発表を行い、PWG のメンバーが見守る中で正々堂々と競争が行われている。PHENIX グループのメンバーならば、所属組織に無関係に実験データを自由に見ることができ、論文も書ける。研究機関同士は平等で、一回グループに参加してしまえば、所属は関係なく研究者個人の競争である。所属機関に関係なく、若手研究者や学生は公平にシニア研究者と接することができる。

各段階において、システムとして若手と有識者・シニア研究者が密接に協力する体制を埋め込んでいる。グループ内で協力して実験データを生成した後は、シニア研究者や世話役の中堅研究者の支援の下、参加メンバーの自主性に任せて論文執筆を行う体制を取っている。グループ内で行われていることは内部のウェブサイトを参照すればメンバーは知ることができ、また、ほとんどの会議にメンバーであれば誰でも参加できる等、できる限りメンバーに平等な環境を整備していることが調査において看取された。研究者を引き付け、やる気を醸成し、良い意味での競争が研究グループ内で起こるよう努めていると、執行部やシニア研究者によって強調されていた。若手研究者や学生からは、実験グループ内のメンバーをライバルとして見なしていることが、インフォーマルな会話や参与観察から確認された。協調と競争が絶妙なバランスで成り立っているのである。グループ内の協調と競争を共存させつつ、明示的な報奨を目指した公平な機会提供に基づく競争を促進している点が、PHENIX グループの組織のマネジメントの特徴といえよう。

PHENIX グループの活動は、データ解析・論文執筆の中心的役割を担う若手と、チームの世話役や内部レビュー委員会のメンバーとなるシニア間での知識の創造と共有を促し、組織的に協働してよりよい知識を生み出すことを促進する。この時、民主的な組織運営を土台として、PHENIX グループ内では所属機関の予算負担やグループ在籍年数等には全く関係なく、あくまでも物理研究の内実での勝負となっている。知の資産を共有し獲得するのは個人の意思に任されている

て、PHENIX グループ内での自由競争なのだとメンバーが納得できるように、マネジメント層は気を遣っている。

内部のウェブサイトであらゆる情報を公開、会議に全メンバーが参加可能であり、ハード、ソフト双方で平等な環境を整備している。データ・情報・知識・知恵が広く共有されている環境、研究の場において、若手のメリットとしては、シニアが手厚く面倒を見てくれ、自分から動けば周囲の支援を受けられることが挙げられる。シニア研究者の知識・知恵を継承する場が整えられている。他方、若手のデメリットとしては、PHENIX 実験が開始してから 10 年以上経過しているため、システムやプログラムについて最初の設計段階から参加できていないことが挙げられる。既に完成しているものを流用することが多く、加速器実験の全フェイズを経験する機会に恵まれることが少なく、実験初期の立ち上げ段階の知識・知恵を獲得することが難しい。また、大規模実験グループにおけるシニア研究者のメリットは、自分の研究テーマに関して協力者がすぐに見つけられることである。それはシニア研究者のデメリットでもあり、やりたいテーマが多数存在しても、自分一人でデータ解析をして論文を書き上げられないので、若手の底上げに時間と手間がかかると言える。

さらに、大規模実験グループ内の個人研究者という観点から、個人・組織の関係を整理してみたい。国際学会の発表は個人の報奨を PHENIX グループ外にも明示する機会であるが、グループ全体の意思が加わってきて、データ解析者の思惑通りに進まないことが出てくる。また、他グループとの競争を意識するあまり、グループ内の公平性を一部犠牲にしている例があり、学生や若手研究者の報奨機会を損失している可能性が否定できない。つまり、PHENIX グループ内にコンフリクトが起きつつあることが観察された。インタビューでは、PHENIX グループでは民主主義的に様々な判断を下しているが、その反面、大胆な研究アイデアが出にくくなる恐れもあるという意見もあった。PHENIX グループでは、参加大学・研究機関によって構成される参加機関委員会が、グループ代表者と執行部を選挙で選ぶ。執行部の方針に対して若手が直接異議を申し立てる場合は、公式には用意されていない。このことも、若手・中堅と執行部の間のコンフリクトを生じさせる一因になっていると考える。Knorr-Cetina(1999)は、分子生物学の研究室では役割がはっきり分割されていて研究室のリーダーが支配しているが、高エネルギー物理実験のグループでは検出器や特定の粒子、コ

ードなどによって“自然に”役割が分かれるのであり、中央集権的な階層型マネジメントはない、高エネルギー物理実験のグループは共同体主義であり、情報もすべて共有すると考察している。PHENIX グループも Knorr-Cetina が言う共同体主義であるものの、若手・中堅と執行部の階層に分かれつつある。PHENIX グループが実験をしている RHIC の運転終了が 1-2 年後に迫っており（2015 年現在）、ライバルである LHC が研究活動の成熟期に到達しつつある状況で、素粒子・原子核実験物理の分野において PHENIX グループの存在感をより高めたい PHENIX グループ執行部と、若手・中堅研究者の間に、階層だけではなく意識の差が生まれている可能性がある。

公平性を確保する上で、シフト以外 PHENIX グループの仕事をしていないメンバーでも論文著者になる現状は、他のメンバーのモチベーションに影響するため、マネジメントの課題である。ただシフトを取るだけ、1 週間の検出器運転当番をするだけで他の作業をしないメンバーを追放はしないが、メンバーはシフト当番以外にも自発的に働いてくれることを期待されている。しかし、そもそもシフトを取得するだけでも十分グループに貢献していると言える面もある。

第4章 結論

4.1 はじめに

この章では、本研究を通じて得られた発見事項と分析結果をリサーチ・クエスチョンに答える形で提示し、理論的含意、実務的含意について議論する。最後に、今後の課題についてまとめる。

4.2 発見事項のまとめ

本節では、第3章の事例分析から導き出された発見事項を整理して提示する。1.3節に示した3つのサブシディアリー・リサーチ・クエスチョン（SRQ）に回答した上で、それらを統合した形でメジャー・リサーチ・クエスチョン（MRQ）に回答する。

4.2.1 SRQ1 の答え

SRQ1：PHENIX グループは、いかにマネージされているのか？

PHENIX グループでは、グループ内で大きな力を持つ参加機関がなく、様々な機関からメンバーが参加している。そのため、実験計画や運営ルール等グループ運営の重要事項を決める際には、参加大学・研究機関の代表者がグループ代表者を選び、グループの重要事項を議論する、間接民主制によってマネージしている。運営に主に関与するのは、シニア研究者である。意思決定は、原則民主的に行われており、各研究者も民主的な組織だと自覚している。論文生産システムに関する事項や組織運営に関するルール等の変更は、必要に応じて適宜行われており、その際は参加機関委員会の議決等によって決定される。

PHENIX グループでは、物理研究の遂行にあたって民主的な意思決定が行われる。明文化されたルールに従って常時複数の物理解析グループや PPG が物理の研究を進め、全員の合意がなければ先のプロセスに進むことができない。

PHENIX グループメンバーであれば、誰でもいつでもどの活動へも参加が可能である。プレリミナリーの取得や論文発表最終決定等、明確な内部審査ルールを持っていると共に、それらのマイルストーンまでの間は、自発的な進捗報告

等、緩い管理で研究が進められている。中堅研究者が定例報告会で司会を務めつつ、保有する知識・知恵を活用して厳しい質問を浴びせること、シニア研究者が今まで培ってきた知識・知恵によって論文に問題ないか判断することにより、物理研究の品質保証に貢献しつつ実験グループを運営している。

また、自発的な役割分担・分業化により、グループ全体の作業が滞りなく進むよう、緩やかな調整が行われている。

4.2.2 SRQ2 の答え

SRQ2 : PHENIX グループは、いかに論文を生産しているのか？

グループの総力を最大化するため、少人数での議論・中規模での議論・グループ全体での議論に、段階を分けている。具体的には、①検出器製作・アップグレード、②検出器の運転、各検出器からのデータ収集、③実験データキャリブレーション・プロダクションジョブ、④データ解析、⑤予備的承認会議、⑥学会発表、⑦論文執筆、⑧論文のレビュー／論文内部審査、⑨論文発表最終決定と 9 段階を経て論文が生産される。物理研究の品質に大きく関わる予備的承認会議や論文執筆については、手順・ルールを定めている。

検出器の製作・アップグレードから実験データキャリブレーション・プロダクションジョブまでは、PHENIX グループ全員が働き、最低限求められる責務を果たし、協調しないと、実験データの統合までたどり着かない。

実験データの統合後始められるデータ解析から学会発表までは、少人数での議論、中規模での議論が中心となる。たとえば PHENIX グループ内で人気のあるテーマの場合、より早くより正確な物理研究の成果を出すことをめぐって、激しい競争が起きている。競争の状況は、PWG における研究進捗状況の報告と質疑応答などを通じて、PHENIX グループ全体に公開されている。データ解析チームを中心とした少人数での議論と、PWG における中規模での議論は、適宜繰り返される。どの議論の場にもシニア研究者・中堅研究者が積極的に関わり、大学院生・ポスドクの知の創造を助ける役割を果たしている。

論文執筆以降は、PHENIX グループとして発表する論文の品質を向上させることに全力が注がれる。品質の担保に重要な役割を果たしているのは、内部レビュー委員会と PHENIX グループ全体のレビューである。メンバーから寄せられたコメントを全て解決して全メンバーの合意が得られないと、論文発表すること

はできない。

このように、論文完成までの 9 段階で、バランスを取りつつ競争と協調のモードに分かれることで、大規模グループのスケールメリットを活かして論文の品質を担保しながら論文を生産している。

4.2.3 SRQ3 の答え

SRQ3:PHENIX グループのメンバーはどのようなインセンティブに影響を受けて、モチベーションを維持しながら研究活動を行っているのか？

大前提として PHENIX グループのような大規模加速器実験は、ある程度の研究者がいなくては成立しない。参加メンバー数が予算額にも影響すると共に、ランのシフトをカバーする人数がいらないことには、実験を行うことができないのである。自発的な意思により加入した研究者により構成される自律的な組織において、大人数の協調に基づいた実験であると言える。ゆえに、シフトだけを取ってプロダクションジョブや物理の解析等の追加の貢献をしないメンバー、フリーライダーに対して、シフトを取ってくれるだけでもありがたいと考えられ、何も罰則を設けていない。シフト以外の貢献については、メンバーの自発的な意思に任されている。

この前提を踏まえると、グループの執行部がマネジメントをする上で、多くの人材、できる限り良い人材を PHENIX グループに引き付けること、グループに加入している研究者が良い研究成果を出すよう研究に邁進する環境を整えること、メンバーにモチベーションを高く維持してもらうことが、最優先となる。執行部としては、実験をまず成立させること、その上で、研究者の人数が増えれば、研究成果の数も増えるという戦略を取らざるを得ない。したがって、グループメンバーとしての義務はランのシフト取得 1 週間のみとしている。その他の活動は各メンバーの自発性に任されているが、論文の仕上げにおいてはグループ全員の参加を促した上、グループ内の誰にでも良い成果を出せるチャンスがあると全員が納得できるようなグループ運営を行い、公平性を担保した上で、物理研究の内実で正々堂々と勝負できる環境を整えている。

個々の研究者は、環境を十分に利用して、自分の関心のあるテーマに取り組み、研究成果を出し、PHENIX グループから報奨として学会発表者に指名され、より良いキャリア・ポジションを得ることをモチベーションにしている。そし

て、PHENIX グループとしては研究者の貢献度に報いるための仕組みを整え、インセンティブを参加者に提供できるよう準備している。

4.2.4 MRQ の答え

MRQ：多様なメンバーから成る PHENIX グループでは、いかに知を創造・共有・活用して研究を行っているのか？

民主的な組織運営・意思決定を土台にした上で、自発的な分業・役割分担によって研究を進めている。科学研究の本来の競争的な性質に加え、協調しなければ実験が成り立たない分野の特徴を、フェイズによってバランスを取ること、大規模グループのスケールメリットを活かしている。保有している知的資産や場はメンバーに原則全て公開している。やる気さえあれば、蓄積されている知を共有・活用し、論文という新たな知を創造することが可能であるように、公平性を担保したグループが運営されている。そして、メンバーがモチベーションを高く維持し、良い研究成果を出せるように、執行部が環境を整え、国際学会発表者や PPG という主著者チームメンバーという報奨機会を提供することで、知の創造プロセスを回す原動力としている。

知の創造プロセスに焦点を当てると、PWG や PPG、投稿論文内部コメントサイトなどの場は PHENIX グループ全体に開かれているものの、現実的には 500 人以上の研究者がいつも議論に参加しているわけではない。しかし、原理的には機会が平等にメンバーへ与えられている。

1) 協調に基づく実験

検出器の製作・アップグレードを行い、次の検出器運転に備える。加速器を運転するラン中に、衝突して飛び散った粒子がつくる微小な信号を、衝突点を取り囲む検出器で測定する。検出器に不具合が起こった場合はラン担当者が伝えられている対処法で対応できない場合はサブシステムの専門家や、困難な事象の場合はノウハウ・知恵を蓄えたシニア研究者が呼ばれ、鮮やかに対処することもある。測定結果に対して、キャリブレーションとプロダクションジョブを行うことで、実験データをデータセットに統合する。PHENIX グループのメンバーが協調して実験データを創造・共有しないと、データセットを作り上げることができず、そもそも各自のやりたい物理の研究に辿り着けない。実験デー

データのキャリブレーションとプロダクションジョブに使用するプログラムは、知識として PHENIX グループが蓄積してきたものであり、これらの知識を活用して、新たなデータを収集しているフェイズである。PHENIX グループに所属する限り、データを収集・共有することが義務付けられている。「実験によりデータという知を創造するプロセス」である。

2) 建設的競争に基づくデータ解析

「実験する」フェイズで実験データ一式が揃うと、PHENIX グループ内で自由競争が始まり、各自の希望に基づいて物理の研究を進め、個別に情報を抽出する。衝突のデータセットを、今まで築き上げてきた PHENIX グループの論文や知識・知恵も参考にしながら解釈し、物理として新しい事象、新たな知見を見つけ出すフェイズである。個人のセンス・勘・スキル等も大いに活用される。具体的には、若手やポスドクが中心的な役割を果たしてデータ解析を進め、PWG の場において各研究者が研究成果を競いつつも、良い研究成果に仕上げようとシニア研究者をはじめとした PWG 参加者が協調しながら情報を共有し、情報の質を高めている。競争を経てプレリミナリーを取得し、学会発表が行われる。「データを解析して情報という知を創造するプロセス」である。

3) 協調に基づく論文執筆

PHENIX グループとして再び協調のモードに戻り、見つけ出した物理現象について、物理の理論的枠組みを参照しながら、体系化して情報を統合し、論文という形式知を創造するフェイズである。PPG は、データ解析がまとまった後に、論文執筆の準備ができたとして PHENIX グループで判断がなされた後に結成され、論文投稿が完了するまで存続する。つまり、同時並行的に、複数の PPG が独立して活動している。PPG で論文投稿案を作成した後、PHENIX グループ全体で論文の質を高めるよう協調的な議論が行われる。このフェイズでは研究者個人が競争して論文を書くわけではない。少人数のチームが中心的に知識を創造し、PHENIX グループ全員で共有し、知の質を向上させる。主にシニア研究者ではあるがメンバー全員が経験・知識・知恵を活用して積極的にコメントし、論文の完成度を高めることが重要である。PHENIX グループとして論文をジャーナルに投稿すると、レフリー・エディターとのやりとりが行われ、このピア・レビューを通

過すると、公的な知識形成へ向かうゆっくりとしたプロセスに乗ることができる。また、PHENIX グループの論文が引用されればされるほど、公的な知識への形成が軌道に乗り、やがて実験物理学者の常識として暗黙知にまでも落とし込まれていく。これらの蓄積した知識・知恵をもとに、次の実験へと繋がっていく、「情報を統合して論文という知識を創造するプロセス」である。

4.3 理論的含意

本研究の理論的含意として、大規模加速器実験における知の創造の理論的モデル(図 4-1)を提示する。

フェイズ 1. 実験する

大規模加速器実験の大前提として、実験グループ全体で協調して実験を行わないと、実験データが収集できない。それぞれのメンバーの専門知識を駆使して、実験データを収集するのである。メンバーが協調して実験データを創造・共有しないと、データセットを作り上げることができず、そもそも各自のやりたい物理の研究に辿り着けない。「実験するフェイズ」では、プログラムや論文等知識として実験グループが蓄積してきたもを利用して実験するのであり、これらの知識を活用して、新たなデータを生み出しているフェイズである。実験グループに所属する限り、データを創造・共有することが義務付けられている。「実験する」の前提として、「実験する」「解析する」「統合する」の3フェイズを通じて今まで蓄積されてきた知識・知恵を土台にしている。

フェイズ 2. 解析する

「実験する」フェイズで創造したデータ一式が揃ったら、実験グループ内で自由競争が始まり、各自の希望に基づいて物理の研究を進め、個別に情報を抽出する。今まで築き上げてきた実験グループの論文や知識・知恵も参考にしながら解釈し、物理として新しい事象、新たな知見を見つけ出すフェイズである。個人のセンス・勘・スキル等も大いに活用される。具体的には、若手やポスドクが中心的な役割を果たしてデータ解析を進め、各研究者が研究成果を競いつつも、良い研究成果に仕上げようと実験グループ全体と協調しながら情報を共

有し、情報の質を高めている。協調はしているものの、「競争」のモードの方が前面に出ている。競争を経て勝者が、学会発表者として研究成果をお披露目する。また、論文執筆チームのメンバーが選定される。

フェイズ3. 統合する

実験グループとして再び「協調」のモードに戻り、見つけ出した物理現象について、物理の理論的枠組みを参照しながら、体系化して情報を統合し、論文という形式知を創造するフェイズである。実験グループ全体で、論文の質を高めるよう協調的な議論が行われる。少人数のチームが中心的に知識を創造し、グループ全員で共有し、知識の質を向上させる。主にシニア研究者が経験・知識・知恵を活用して積極的にコメントし、論文の完成度を高めることが重要である。実験グループとして論文をジャーナルに投稿すると、レフリー・エディターとのやりとりが行われ、このピア・レビューを通過すると、公的な「知識」形成へ向かうゆっくりとしたプロセスに乗ることができる。また、実験グループの論文が引用されればされるほど、公的な知識への形成が軌道に乗り、やがて実験物理学者の常識として暗黙知にまでも落とし込まれていく。これらの蓄積した知識・知恵をもとに、次の実験へと繋がっていく。

以上のように「実験する」・「解析する」・「統合する」全てのフェイズにおいて、シニア研究者の知恵・グループが蓄積した知恵が活用されている。また、各フェイズで新たな知恵が蓄積される。3つのフェイズにおいて、関わる人数が変化するとともに、研究者の自発的な関わりに任せられ、研究者自身が自分の役割を再定義していく過程で「協調」・「競争」・「協調」とモードが遷移していくことが、大規模加速器実験の論文生産プロセス、知の創造プロセスの特徴である。

このフェイズを進めて行くプロセス、スパイラルを回す原動力として、メンバーのモチベーションが必須であり、そのモチベーションを支えるのがグループの報奨システムなどのインセンティブである。

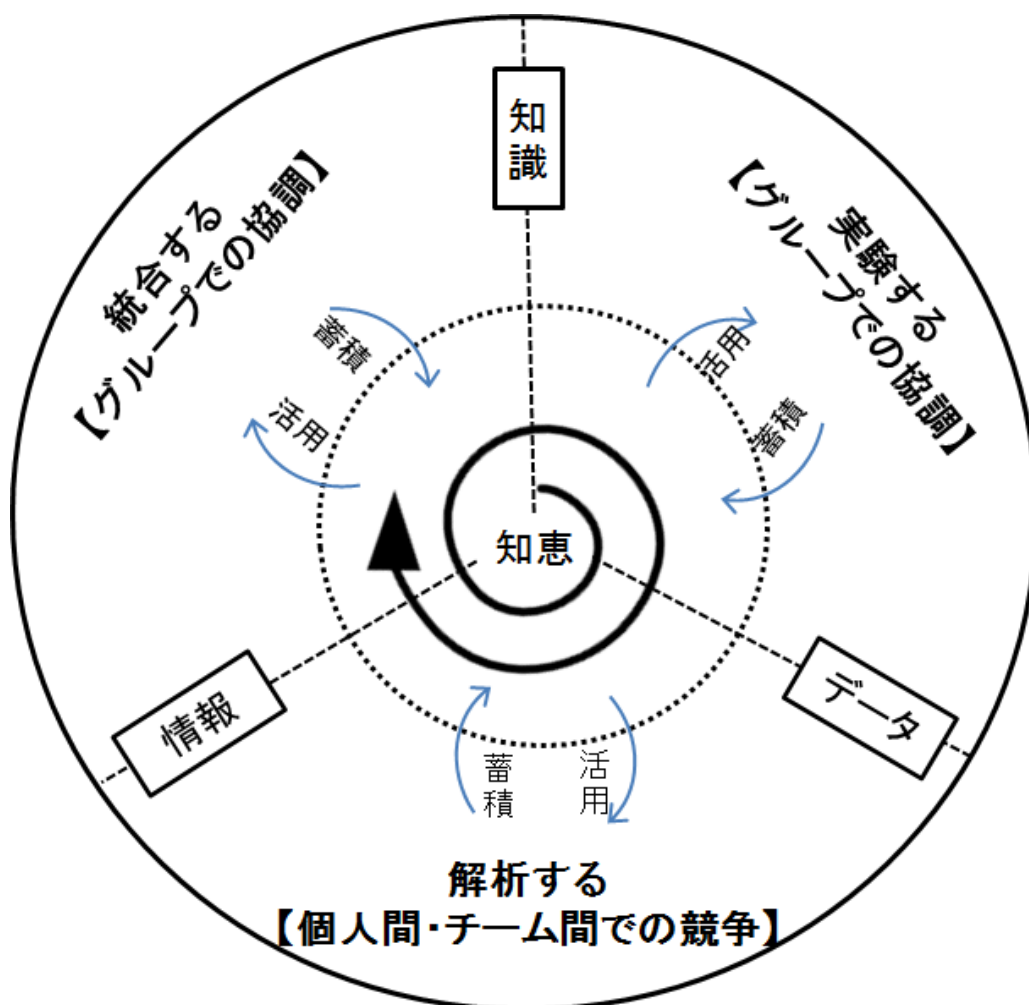


図 4-1 大規模加速器実験における知のプロセス

出典：筆者作成

4.4 実務的含意

本研究で得られた知見を、今後の大規模加速器実験や物理学実験、ひいてはビッグ・サイエンスに役立てるため、実務的な含意を提示する。

科学研究は形式知である論文を創出するための活動であるが、論文生産プロセスの各段階における知識を個人の暗黙知のままにしていることが散見された。「(企業と比べると) 個人任せで書面に残らないことが多い⁹⁹⁾」、「マニュアル化する努力を多少怠っている面がある¹⁰⁰⁾」、「データ解析をしていた学生が卒業して

⁹⁹⁾ H氏インタビュー (2015年3月15日)。

¹⁰⁰⁾ A氏インタビュー (2014年8月29日)。

しまったため、プレリミナリーは取得したものの、(解析内容をフォローできず)論文にまとめられていない解析がある¹⁰¹⁾」などの問題を解決するためには、PHENIX グループとして知識の共有を進めるべきと考えられる。解析ノートとして公開される前のメモ的なノートで各所属機関や個人の所有と思われるが、PWGで発表される資料とその元データを PHENIX グループで一元管理することを提言したい。特に、途中まで解析が進んでいたにもかかわらず、主著者が PHENIX グループから転出した場合は、論文執筆チームのメンバーや中堅研究者、PWG の参加者を中心に、主著者の役目を引き継ぐ体制作りが必要である。また、実験が大規模・長期間に渡るため、検出器の製作やプログラム作成等、学生・若手研究者が一から経験することが非常に困難である。実験の立ち上げ期に関する知的資産も含めて、時間を越えた知の共有を目指すことを提言する。

さらに、他の大規模加速器実験グループでは、シフトの他に共同作業の分担等、より多くの義務が課せられている例がある。活発な研究活動を行う意欲のある研究者に対して、シフト以外貢献しない研究者への不公平感を減らすためにも、またデータ収集の負荷を分散させるためにも、シフト以外で実験データキャリブレーション・プロダクションジョブにおける共同作業の割当てなど、グループメンバーとしての義務を追加することを提言する。他機関の作業内容が把握しにくいとの意見も多かったが、共同作業を BNL で行うことで、人の交流と共に知の交流も活性化され、知の創造・共有・活用がより効率よく推進されることを期待する。

また、若手・中堅研究者の不満・改善案・内部コンフリクトが、執行部をはじめとする PHENIX グループ全体で共有されていない可能性がある。内部コンフリクトはモチベーションの低下にも繋がりがねないため、グループのマネジメントにおいて意識的に顕在化させ議論する場が必要であろう。運営体制に対して個人的に意見を言える場、執行部が学生・若手・中堅研究者にヒアリングする場を作り、対応策を検討した上でフィードバックする仕組みを取り入れた方が良いと考える。

¹⁰¹⁾ R 氏インタビュー (2015 年 4 月 7 日)。

4.5 将来研究への示唆

本研究における制限事項として三点述べる。

まず最初に、PHENIX グループ内の競争について、詳細な分析には至らなかった。具体的には、プレリミナリーを取得できなかった場合や若手研究者が PHENIX グループから去って行った場合について、検証が不足している。

二点目として、PHENIX グループのみを事例研究の対象としており、本研究の知見が他の実験グループ、例えば物性物理学や生命科学の分野にどこまで敷衍しうるか、不明瞭な部分がある。今後は他の分野の実験グループにおける複数の事例、特に民主的なマネジメント以外を採用しているグループなどを調査し比較研究を行うことで、PHENIX グループの特徴がさらに浮かび上がると考える。

最後に、RHIC や PHENIX グループの建設前から PHENIX グループの実験提案を経て、運転開始をした初期の状況は、科学史の範疇とも言えるため、本研究では取り扱っていない。

これら三点の制限事項を取り払うべく、それぞれのデータを収集し理論的モデルの確度を高め洗練させていくことが、課題の一つである。

また、PHENIX 検出器の運転終了が目前に迫っており、一つの大規模加速器実験のライフサイクルが完了しようとしている。ライフサイクルは 15 年–20 年単位といった長期間に渡るため、ライフサイクルの最初から最後までを通して分析できる機会は極めて珍しい。実験関係者の記憶が新しいうちに、調査をすることが望ましい。

さらに、新たな研究者が PHENIX グループに加入すること、PHENIX グループで長く活動すること、良い成果をあげることが促進するために、グループメンバーに公平な機会を担保する仕組みを構築しているが、一方シフトを取る義務を果たす以外、グループの仕事を担わないいわゆる「フリーライダー」の存在について、特別な対処を行っていないこと、フリーライダーの扱いについて困惑している状況が聞かれた。他の大規模加速器実験グループでは、加入するために一定の作業を課している所がある。PHENIX グループ内外において、フリーライダー・義務とモチベーションに関する対処法の調査を進めることで、新たなマネジメントの提案ができる可能性がある。

参 考 文 献

- 秋葉康之(1998)『RHIC 加速器での PHENIX 実験』
<http://www.phenix.bnl.gov/WWW/publish/akiba/PR/PRbook.ppt>, 2015 年 6 月 4 日アクセス.
- (2000)『RHIC と PHENIX 実験』
<https://www.phenix.bnl.gov/WWW/publish/akiba/HEN/HEN000708.doc>,
2015 年 12 月 31 日アクセス.
- (2014)『クォーク・グルーオン・プラズマの物理 —実験室で再現する宇宙の始まり—』 共立出版.
- Allen, J. James, AD. & Gamlen, P. (2007) “Formal versus informal knowledge networks in R&D: a case study using social network analysis,” *R&D Management*, 37-3, pp. 179-196.
- ATLAS (2015) ATLAS Eperiment,
<http://www.atlas.ch/fact-sheets-1-view.html>, 2015 年 5 月 30 日アクセス.
- バーンズ, B. (1989) 川出由己 (訳) 『社会現象としての科学』 吉岡書店.
- Biagioli, M. (1999) “Aporias of Scientific Authorship: Credit and Responsibility in Contemporary Biomedicine.” In Biagioli, M. (Eds.), *The Science Studies Reader*. New York, NY: Routledge, pp.12-30.
- Boulding, K. E. (1963) *Conflict and defense, a general theory*. New York, Harper & Row.
- ブランデンバーガー, A. M. & ネイルバフ, B. J. (著) 嶋津祐一・東田啓作 (訳) (2003) 『ゲーム理論で勝つ経営 : 競争と協調のコーペティション戦略』 日本経済新聞社.
- Brookhaven National Laboratory(2011) “Organaization Chart,”
https://www.bnl.gov/about/docs/org_chart.pdf, 2011 年 4 月 1 日アクセス.
- (2011) “Collision Accelelator Department Organaization Chart,”
http://www.c-ad.bnl.gov/esfd/OrganizationalChart/CAD_Org_Chart.pdf, 2011 年 4

- 月 1 日アクセス.
-
- (2011) “Physics Department Organaization Chart,”
https://www.bnl.gov/physics/linkable_files/pdf/OrgChart.pdf, 2011 年 4 月 1 日アクセス.
-
- (2014) “lists.bnl.gov Mailing Lists,”
<https://lists.bnl.gov/mailman/listinfo>, 2014 年 4 月 8 日アクセス.
-
- (2015) “Run overview of the Relativistic Heavy Ion Collider,”
<http://www.agsrhichome.bnl.gov/RHIC/Runs/>, 2015 年 12 月 17 日アクセス.
-
- (2016) “Laboratory Events,”
<https://www.bnl.gov/events/>, 2016 年 2 月 27 日アクセス.
- Brookhaven Science Associates (2015) “About BSA,”
<http://www.bsa-hq.org/about/about.php>, 2015 年 12 月 8 日アクセス.
- カロン, M. & ロー, J. (著) 林隆之 (訳) (1999) 「個と社会の区分を超えて——集団性についての科学技術社会論からの視座」『科学を考える』北大路書房, pp. 238–257.
- Castelvecchi, D. (2015) Physics paper sets record with more than 5,000 authors, *Nature*,
<http://www.nature.com/news/physics-paper-sets-record-with-more-than-5-000-authors-1.17567>, 2015 年 5 月 30 日アクセス.
- CERN (2013) CERN congratulates Englert and Higgs on Nobel in physics,
<http://home.web.cern.ch/about/updates/2013/10/CERN-congratulates-Englert-and-Higgs-on-Nobel-in-physics>, 2015 年 5 月 31 日アクセス.
- チャルマーズ, A. F. (著) 高田紀代志・佐野正博 (訳) (2013) 『科学論の展開』恒星社厚生閣.
- CMS (2015) CMS Collaboration,
<http://cms.web.cern.ch/content/cms-collaboration>, 2015 年 5 月 30 日アクセス.
- コールマン, S. (著) 岩館葉子 (訳) (2002) 『検証・なぜ日本の科学者は報われないのか』文一総合出版.

Columbia University(2014), Why is the order of authorship and the listing of authors important in a research paper?

http://ccnmtl.columbia.edu/projects/rcr/rcr_authorship/q_a/case01_answer_02.html, 2014 年 6 月 4 日アクセス.

ダベンポート, T. H. & プルサック, L. (著) 梅本勝博(訳) (2000) 『ワーキング・ナレッジ』 生産性出版.

ディクソン, N. M. (著) 梅本勝博・遠藤温・末永聡(訳) (2003) 『ナレッジマネジメント 5 つの方法』 生産性出版.

Dunbar, K. (1995) “How scientists really reason: Scientific reasoning in real-world laboratories,” In Sternberg, R. J. and Davidson, J. (Eds.), *Mechanisms of Insight*. Cambridge, MA: MIT Press, pp.365-395.

Esparza, J. & Yamada, T. (2007), “The discovery value of ‘Big Science,’ ” *The Journal of Experimental Medicine*, 204-4, pp.701-704.

フォルジャー, T. (2011) 「さよならテバトロン」 『日経サイエンス』 2011 年 11 月号, pp.78-85.

ファインマン, R. P. (著) 大貫昌子(訳) (2007) 『科学は不確かだ!』 岩波書店.

藤垣裕子(1999) 「ジャーナルシステムからとらえる科学のダイナミズム～計測と認識論をつなぎ, 異分野摩擦を超えるには～」 岡田猛ほか(編著) 『科学を考える～人工知能からカルチュラル・スタディーズまで 14 の視点』 北大路書房, pp.186-211.

———(2003) 『専門知と公共知—科学技術社会論の構築へ向けて』 東京大学出版会.

藤垣裕子・永田晃也 (2000) 「科学技術政策コンセプトの進化プロセス～科学計量学的アプローチによるダイナミクスの分析～」 『科学技術政策研究所 Policy Study No.5』 .

藤原康平(2007) 『高エネルギー重イオン衝突及び偏極陽子衝突実験の為のシリコンピクセル型飛跡検出器の研究開発』 新潟大学大学院自然科学研究科博士論文,

http://ribf.riken.jp/~fujiwara/doc/fujiwara_doctoral_dis.pdf

2016 年 2 月 27 日アクセス.

- フラー, S. (著) 小林博司他(訳) (2000) 『科学が問われている—ソーシャル・エピステモロジー』 産業図書.
- 福島真人 (2001) 『暗黙知の解剖』 金子書房.
- 福島真人 (2009a) 「知識移転の神話と現実」『研究 技術 計画』 Vol. 24, No. 2, pp. 163-171.
- (2009b) 「リサーチ・パス分析—科学的実践のミクロ戦略について」『日本情報経営学会誌』 Vol. 29, No. 2, pp. 26-35.
- (2010) 『学習の生態学』 東京大学出版会.
- (2011) 「組織としてのラボラトリー—科学のダイナミズムの民族誌—」『組織科学』 Vol. 44, No. 3, pp. 37-52.
- (2013) 「科学の防御システム—組織論的「指標」としての捏造問題」『「科学を評価する」を問う—科学技術社会論研究第 10 号』 pp. 69-82.
- Galison, P. (2003) “The Collective Author.” In Peter Galison & Mario Biagioli (Eds.), *Scientific Authorship: Credit and Intellectual Property in Science*, New York and Oxford: Routledge, pp. 325-353.
- ガービン, D. A. (著) 沢崎冬日(訳) (2002) 『アクション・ラーニング』 ダイアモンド社.
- Garvey, W.D. & Griffith, B.C. (1967) Scientific communication as a social system. The exchange of information on research evolves predictably and can be experimentally modified. *Science*, Vol. 157, Issue 3792, pp. 1011-1016.
- ギボンズ, M. (編著) 小林信一(訳) (1997) 『現代社会と知の創造 モード論と何か』 丸善ライブラリー.
- ギルバート, G.N. & マルケイ, M. (著) 柴田幸雄・岩坪紹夫(訳) (1990) 『科学理論の現象学』 紀伊國屋書店.
- ハッキング, I. (著) 渡辺博(訳) (2015) 『表現と介入』 ちくま学芸文庫.
- Hagedoorn, J., Link, A. N., & Vonortas, N. S. (2000) Research partnerships. *Research Policy*, 29, pp. 567-586.
- 浜垣秀樹(2014) 『高エネルギー重イオン衝突と見果てぬ夢』
<http://watanaby.files.wordpress.com/2013/03/2-2hamagaki.pdf>, 2014 年 4 月 20 日アクセス.

- 平田光司(2015)「トランスサイエンスとしての先端巨大技術」『科学技術社会論研究』 pp. 31-49.
- 平田光司・高岩義信(1999)「SSC－巨大実験の科学」『専門家集団の思考と行動』岩波書店, pp. 191-224.
- 本間利久・永谷裕子(2013)「フロネシス・プロジェクトマネジメントの背景と教育プログラム」『工学教育研究講演会講演論文集』 61, pp. 546-547.
- Inspire(2015) “Top Cited Articles of All Time (2014 edition) in nucl-ex, ”
http://inspirehep.net/info/hep/stats/topcites/2014/eprints/to_nucl-ex_alltime.html, 2015 年 6 月 4 日アクセス.
- 伊丹敬之(2005)『場の論理とマネジメント』 東洋経済新報社.
- (2010)『場のマネジメント実践技術』 東洋経済新報社.
- 伊丹敬之・軽部大(2004)『見えざる資産の戦略と論理』 日本経済新聞社.
- 伊藤泰信(2009a)「実験系ラボラトリーにおける諸活動把握のための組織社会的メモランダム—組織形態比較を中心に—」『ラボラトリー=スタディーズをひらくために——日本における実験系研究室を対象とした社会科学研究の試みと課題』 JAIST Press, pp. 40-52.
- (2009b)「大学における実験系ラボラトリーの「のれん分け」に関するノート—微視的事例分析—」『ラボラトリー=スタディーズをひらくために——日本における実験系研究室を対象とした社会科学研究の試みと課題』 JAIST Press, pp. 76-82.
- (2009c)「実験系研究室における差異化と微視的变化をめぐって—大学院大学のバイオ系ラボラトリーの「のれん分け」の事例から—」『九州人類学会報』, 第 36 号, pp. 77-85.
- 井山弘幸・金森修(2000)『現代科学論 : 科学をとらえ直そう』 新曜社.
- Jewell, L.N. & Reitz, H.J. (1981) Group Effectiveness in Organizations. Glenview, Illinois, Scott, Foresman and Company.
- JST(2015), 著者数別論文数シェア
<http://foresight.jst.go.jp/dataranking/collaboration/authors/>, 2015 年 5 月 31 日アクセス.
- 科学技術・学術審議会(2003) 第 11 回総会(平成 15 年 7 月 24 日)開催資料
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu0/shiryo/attach

- [/1332060.htm](#), 2015 年 5 月 30 日アクセス.
- 金田雅司(2003)『PHENIX と STAR の華と穴』
http://lambda.phys.tohoku.ac.jp/~kaneta/presentation/2003_10_21_Masashi_Kaneta_Radiation_Lab_Colloquium.ppt, 2014 年 3 月 8 日アクセス.
- Katz, J.S. & Hicks, D. (1997) “How much is a collaboration worth? A calibrated bibliometric model,” *Scientometrics*, Vol. 40, No.3, pp. 541-554.
- 北仲千里 (2012)『ハラスメントや性差別を生み出す各学問分野の構造分析』科学研究費補助金研究成果報告書.
- 窪田輝蔵(1996)『科学を計る』インターメディカル.
- 倉田敬子(1999)「情報の生産, 伝達, 利用からみた科学研究活動」岡田猛ほか(編著)『科学を考える:人工知能からカルチュラル・スタディーズまで 14 の視点』北大路書房, pp. 164-185.
- クーン, T. (著) 中山茂(訳) (1971)『科学革命の構造』みすず書房.
- 黒木登志夫(2016)『研究不正 - 科学者の捏造、改竄、盗用』中央公論新社.
- Knorr-Cetina, K. (1999) *Epistemic Cultures: How the Sciences Make Knowledge*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- 高エネルギー加速器研究機構(2003)「重陽子-金原子核衝突からのエキサイティングな研究成果～物質の新しい形態の探求へ～」
<http://www2.kek.jp/ja/news/press/2003/j-usbn101.html>, 2016 年 3 月 1 日アクセス.
- (2008)「LHC 加速器及び ATLAS 実験記者会見要旨」
<http://atlas.kek.jp/sub/OHP/2008/20080909LHCpressOutline.pdf>, 2015 年 6 月 4 日アクセス.
- ラトゥール, B. (著) 川崎勝(訳) (1999)『科学が作られているとき—人類学的考察』産業図書.
- (著) 川崎勝・平川 秀幸 (訳) (2007)『科学論の实在—パンドラの希望—』産業図書.
- (著) 川村久美子(訳) (2008)『「虚構の近代」科学人類学は警告する』新評論.
- Latour, B. & Woolgar, S. (1979) *Laboratory Life: The Construction of*

- Scientific Facts*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- レーダーマン, L. M. & シュラム, D. N. (著) 平田光司・清水韶光(訳) (1993) 『クオークから宇宙へ』 東京化学同人.
- ライデスドルフ, L. (著) 藤垣裕子・林隆之(訳) (2001) 『科学計量学の挑戦』 玉川大学出版部.
- Lorigo, L. & Pellacini, F. (2007) "Frequency and structure of long distance scholarly collaborations in a physics community," *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 58(10), pp. 1497-1502.
- Maskus, K. E., Mobarak, A. M., & Stuen, E. T. (2013) "Doctoral Students and U.S. Immigration Policy," *Science*, 324, pp. 562-563.
- 松本三和夫 (2016) 『科学社会学の理論』 講談社.
- 松尾睦 (2003) 『内部競争のマネジメントー営業組織のイノベーション』 白桃書房.
- マートン, R. K. (著) 森東吾(訳) (1961) 『社会理論と社会構造』 みすず書房.
- (著) 成定薫(訳) (1983) 『科学社会学の歩み』 サイエンス社.
- Milton, N. (2005) *Knowledge Management for Teams and Projects*, Oxford UK, Chandos Publishing.
- 都城秋穂 (1998) 『科学革命とは何か』 岩波書店.
- 森洋子 (2013) 「米 University of Colorado など, 出身国が同じ学生が集まったラボより, 異なる国の出身者で構成されるラボの方が論文の生産性が高い」 『日経バイオテク ONLINE』 ,
<https://bio.nikkeibp.co.jp/article/news/20131104/171900/>, 2013 年 11 月 5 日アクセス.
- 村上陽一郎 (1994) 『科学者とは何か』 新潮選書.
- (2001) 『文化としての科学／技術』 岩波書店.
- 永宮正治 (2008) インタビュー第 3 回 「よい施設・よい研究テーマ・よい雰囲気
を」
http://scienceportal.jst.go.jp/columns/interview/20081007_01.html,
 2015 年 5 月 30 日アクセス.
- 永谷裕子 (2014) 「人と組織の価値を創造するチーム・ビルディング : 社会・

- 文化的な暗黙知をマネジメントするフロネシス PM 的アプローチ」『プロジェクトマネジメント学会誌』 16(1), pp. 18-22.
- 中島秀人(2006)『日本の科学／技術はどこへいくのか』岩波書店.
- (2008)『社会の中の科学』放送大学教育振興会.
- 中岡哲郎(1971)『工場の哲学』平凡社.
- ニュートンプレス(編)(2007)『加速器がわかる本』ニュートンプレス.
- 仁科記念財団(2011)2011 年度 仁科記念賞 受賞者一覧,
http://www.nishina-mf.or.jp/prize/2011_prize_release.pdf, 2014 年 3 月 11 日アクセス.
- 野中郁次郎(2006)『内閣府第 3 回イノベーション 25 戦略会議資料』
<http://www.cao.go.jp/innovation/action/conference/minutes/minute3/siryoku2.pdf>, 2015 年 8 月 4 日アクセス.
- (2014)『史上最大の決断:「ノルマンディー上陸作戦」を成功に導いた賢慮のリーダーシップ』ダイヤモンド社.
- 野中郁次郎・竹内弘高(1996)梅本勝博(訳)『知識創造企業』東洋経済新報社.
- 野中郁次郎・梅本勝博(2001)「知識管理から知識経営へ—ナレッジマネジメントの最新動向—」『人工知能学会誌』16(1), pp. 4-14.
- 岡田猛(1999)「科学における共同研究のプロセス:インタビュー, 質問紙調査, および, 心理学的実験による検討」岡田猛ほか(編著)『科学を考える:人工知能からカルチュラル・スタディーズまで14の視点』北大路書房, pp. 2-25.
- Osborne, J. W. & Holland, A. (2009) "What is authorship, and what should it be? A survey of prominent guidelines for determining authorship in scientific publications, Practical Assessment," *Research & Evaluation*, Vol 14, No15, pp.1-21.
- ペルツ, D.C. & アンドリュース, F.M. (著) 兼子宙(監訳)(1971)『創造の行動科学』ダイヤモンド社.
- PHENIX(2010) Decadal Plan 2011-2020,
https://www.bnl.gov/npp/docs/phenix_decadal10_full_refs.pdf,
 2016 年 10 月 1 日アクセス.
- (2013) Bylaws of the PHENIX Collaboration,
<https://www.phenix.bnl.gov/phenix/WWW/docs/bylaws/current/bylaws.htm>,

- 2014 年 8 月 5 日アクセス.
- (2014) PHENIX Physics Working Groups
<http://www.phenix.bnl.gov/pwg.html>, 2014 年 8 月 5 日アクセス.
- (2014) PHENIX Preliminary Approval Procedures
<http://www.phenix.bnl.gov/WWW/publish/jacak/sp/Customs/prelim.htm>,
 2014 年 8 月 5 日アクセス.
- (2014) PHENIX Publications,
http://www.phenix.bnl.gov/WWW/talk/pub_papers.php, 2014 年 8 月 5 日ア
 クセス.
- (2014) Publication Policies of the PHENIX Collaboration
[http://www.phenix.bnl.gov/phenix/WWW/publish/jacak/sp/publications/pu
 blications.htm](http://www.phenix.bnl.gov/phenix/WWW/publish/jacak/sp/publications/publications.htm), 2014 年 8 月 5 日アクセス.
- (2016) PHENIX Institutions,
http://www.phenix.bnl.gov/PHENIX_Inst.html, 2016 年 1 月 31 日アクセス.
- ブライス, D. (著) 島尾永康(訳) (1970) 『リトル・サイエンス ビッグ・サイ
 エンス』 創元社.
- ポラニー, M. (著) 佐藤敬三(訳) (1980) 『暗黙知の次元-言語から非言語へ』
 紀伊国屋書店.
- ポーター, T. M. (著) 藤垣裕子(訳) (2013) 『数値と客観性』 みすず書房.
- Reich, R. B. (1991) *The work of nations : preparing ourselves for
 21st-century capitalism*, New York, NY: A. A. Knopf.
- 理化学研究所(2003) 「宇宙誕生 1 万分の 1 秒後、陽子生成の謎を解く」『理研ニ
 ュース』 2003 年 8 月号,
[http://www.riken.go.jp/r-world/info/release/news/2003/aug/index.htm
 l](http://www.riken.go.jp/r-world/info/release/news/2003/aug/index.html), 2015 年 12 月 17 日アクセス.
- (2013) 『理研 BNL 研究センターパンフレット』 理化学研究所.
- 理化学研究所(2015) 組織図,
[http://www.riken.jp/~media/riken/about/organization/riken-j-20150
 401.pdf](http://www.riken.jp/~media/riken/about/organization/riken-j-20150401.pdf), 2015 年 4 月 4 日アクセス.
- 理化学研究所史編集委員会 (2005) 『理研精神八十八年』 理化学研究所.
- ローゼンブルーム, R. S. & スペンサー, W. J. (著) 西村吉雄(訳) (1998) 『中央

- 研究所の時代の終焉』日経 BP 社.
- Roderik P. (2009) "The limits to internationalization of scientific research collaboration," *Journal of Technology Transfer*, 34, pp. 76-94.
- 佐藤郁哉 (2008) 『質的データ分析法』新曜社.
- 佐藤郁哉・山田真茂留 (2004) 『制度と文化—組織を動かす見えない力』日本経済新聞社.
- Seidel, R. W. (1983) "Accelerating Science: The Postwar Transformation of the Lawrence Radiation Laboratory," *Historical Studies in the Physical Sciences*, 13, pp. 375-400.
- Shore, B., & Cross, B. (2005) "Exploring the role of national culture in the management of large-scale international science projects," *International Journal of Project Management*, 23, pp. 55-64.
- サイモン, H. A. (著) 松田武彦・高柳暁・二村敏子 (訳) (2009) 『経営行動: 経営組織における意思決定過程の研究』ダイヤモンド社.
- STAR (2016) STAR bylaws,
https://drupal.star.bnl.gov/STAR/files/Bylaws_28Jan2016.pdf, 2016 年 6 月 11 日アクセス.
- 隅藏康一 (2013) 「ラボノート再考: 大学のラボラトリーにおけるリーダーシップとナレッジマネジメント」『知財ジャーナル』, 6, pp. 47-58.
- 鈴木國弘 (2001) 「Spring-8 におけるプロジェクトマネジメント」『プロジェクトマネジメント学会誌』 Vol. 3, No. 6, pp. 19-22.
- 立花隆 (2009) 『小林・益川理論の証明』朝日新聞出版.
- 田尾雅夫編 (2003) 『非合理組織の系譜』文眞堂.
- トーブス, G. (著) 高橋真理子・溝江昌吾 (訳) (1988) 『ノーベル賞を獲った男』朝日新聞社.
- Thomas, K. W. (1992) "Conflict and conflict management: Reflections and update," *Journal of Organizational Behavior*, Vol. 13, pp. 265-274.
- Traweek, S. (1992) *Beamtimes and Lifetimes: The World of High Energy Physicists*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Tuertscher, P. (2008) *The ATLAS Collaboration: A Distributed Problem-*

Solving Network in Big Science, Oxford Internet Institute DPSN Working Paper Series No. 11.

フォンクロー, G.・一條和生・野中郁次郎 (2001)『ナレッジ・イネーブリング 知識創造企業への五つの実践』東洋経済新潮社.

ウィリアムズ, T. I. (著) 村上陽一郎(監修) 小林章夫監(訳) (1992)『20 世紀の歴史 6 科学・技術下 1945～: ハイテクとビッグ・サイエンス, 第 6 巻』平凡社.

植田一博 (1999)「現実の研究・開発における科学者の複雑な認知活動: インタビュー手法によるデータ収集とその分析」岡田猛ほか(編著)『科学を考える: 人工知能からカルチュラル・スタディーズまで 14 の視点』北大路書房, pp. 56-95.

植田一博・丹羽清 (1996)「研究・開発現場における協調活動の分析」『認知科学』Vol3, No. 4, pp. 102-118.

上野彰 (2008)「長い歴史を持つラボラトリーの組織的知識に関する研究～ラボラトリーの系譜学的検討 事例 1～」文部科学省 科学技術政策研究所 Discussion Paper No. 50.

上野直樹・ソーヤーりえこ (2009)「実践共同体のマテリアリティと構造化された資源: 状況的学習論の観点」『組織科学』Vol. 43, No. 1, pp. 6-19.

梅本勝博 (2012)「ナレッジマネジメント: 最近の理解と動向」『情報の科学と技術』62(7), pp. 276-280.

吉川弘之 (2002)『科学者の新しい役割』岩波書店.

吉岡有文 (2006)「ビッグプロジェクトにおける加速器研究者の学習: KEKB フィールドワーク」『科学技術実践のフィールドワーク: ハイブリッドのデザイン』せりか書房.

ザイマン, J. (著) 松井卷之助(訳) (1981)『社会における科学』草思社.

———— (著) 桜井邦朋・大江秀房(訳) (1985)『科学理論の本質』地人書館.

———— (著) 竹内敬人(訳) (1988)『科学と社会を結ぶ教育とは』産業図書.

———— (著) 村上陽一郎・川崎勝・三宅しげる(訳) (1995)『縛られたプロメテウス—動的定常状態における科学』シュプリンガー・フェアラーク東京.

———— (著) 東辻千枝子(訳) (2006)『科学の真実』吉岡書店.

付録

付録 1. PHENIX グループが設定している公式メーリングリスト

No	メーリングリスト名	使用目的
1	Phenix-admin-l	PHENIX Operations Administration
2	Phenix-ar-l	<i>[no description available]</i>
3	Phenix-ccj-transfer-l	Aspects of the Data Transfer from PHENIX to PHENIX-CCJ
4	Phenix-comp-l	PHENIX Computing
5	Phenix-electron-l	PHENIX upgrades for electrons -- incl low-mass dileptons
6	Phenix-faq-l	PHENIX Frequently Asked Questions
7	Phenix-forward-l	PHENIX forward upgrades (public list)
8	Phenix-highpt-l	PHENIX upgrades to enhance high p _T capability
9	Phenix-jobs-l	PHENIX Employment Opportunities
10	Phenix-junior-l	PHENIX Junior Career Vulnerable Scientists
11	Phenix-news-l	PHENIX News
12	Phenix-silicon-l	PHENIX upgrades using silicon detectors
13	Phenix-vis-l	PHENIX BNL visitors

出典：BNL (2014)

付録 2. RHIC 運営に関して設定されている公式 ミーリングリスト

No	ミーリングリスト名	使用目的
1	Rhic-outreach-1	RHIC outreach contacts
2	Rhic-procurement-1	Exchange of information regarding hardware evaluation (servers, storage, network equipment)
3	Rhic-rcf-1	RHIC Computing Facility
4	Rhic-software-1	RHIC Software
5	Rhicagsuec-exofficio-1	RHIC & AGS UEC Ex-Officio members
6	Rhicagsuec-fpp-1	RHIC & AGS UEC Funding, Politics, & Programmatic Working Group
7	Rhicagsuec-1	RHIC & AGS UEC members
8	Rhicagsuec-mco-1	RHIC & AGS UEC Meetings, Communication, & Outreach Working Group
9	Rhicagsuec-qol-1	RHIC & AGS UEC Quality of Life Working Group
10	Rhicagsuec-sas-1	RHIC & AGS UEC Site Access & Science Working Group
11	Rhiccontacts-1	RHIC Contacts

出典：BNL (2014)

付録 3. PHENIX グループ参加機関

国	参加機関
Brazil	University of São Paulo
P.R. China	China Institute of Atomic Energy (CIAE)
	Peking University
Croatia	University of Zagreb Faculty of Science Department of Physics
Czech Republic	Charles University, Faculty of Mathematics and Physics
	Czech Technical University, Faculty of Nuclear Sciences and Physical Engineering
	Institute of Physics, Academy of Sciences of the Czech Republic
Finland	University of Jyväskylä
France	Dapnia, CEA Saclay
	Laboratoire Leprince-Ringuet, Ecole Polytechnique, CNRS-IN2P3
	Laboratoire de Physique Corpusculaire (LPC), Université de Clermont-Ferrand
	IPN-Orsay, Université Paris Sud, CNRS-IN2P3
Hungary	Debrecen University
	Eötvös Loránd University (ELTE)
	Institute for Particle and Nuclear Physics, Wigner Research Centre for Physics, Hungarian Academy of Sciences (Wigner RCP, RMKI)
India	Banaras Hindu University
	Bhabha Atomic Research Centre (BARC)
Israel	Weizmann Institute
Japan	Center for Nuclear Study (CNS-Tokyo), University of Tokyo
	Hiroshima University
	Advanced Science Research Center, Japan Atomic Energy Agency
	KEK - High Energy Accelerator Research Organization
	Kyoto University
	Nagasaki Institute of Applied Science
	RIKEN
	RIKEN - BNL Research Center
	Physics Department, Rikkyo University
	Tokyo Institute of Technology
	University of Tsukuba
Russia	IHEP (Protvino), State Research Center of Russian Federation "Institute for High Energy Physics"
	INR_RAS, Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences
	Joint Institute for Nuclear Research (JINR-Dubna)
	Kurchatov Institute
	PNPI, Petersburg Nuclear Physics Institute
	National Research Nuclear University, MEPhI, Moscow Engineering Physics Institute

	Saint-Petersburg State Polytechnical Univiversity
	Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University
South Korea	Chonbuk National University
	Ewha Womans University
	Hanyang University
	Korea University
	Myong Ji University
	Department of Physics and Astronomy, Seoul National University
	Accelerator and Medical Instrumentation Engineering Lab, SungKyunKwan University
	Yonsei University
Sweden	Lund University
USA	Abilene Christian University
	Department of Physics, Augustana College
	Baruch College, CUNY
	Collider-Acccelerator Department, Brookhaven National Laboratory
	Physics Department, Brookhaven National Laboratory
	University of California - Riverside (UCR)
	University of Colorado, Boulder
	Columbia University, Nevis Laboratories
	Florida Institute of Technology
	Florida State University (FSU)
	Georgia State University (GSU)
	Department of Physics and Astronomy, Howard University
	University of Illinois Urbana-Champaign
	Iowa State University (ISU) and Ames Laboratory
	Los Alamos National Laboratory (LANL)
	Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL)
	University of Maryland
	Department of Physics, University of Massachusetts
	Department of Physics, University of Michigan
	Morgan State University
	Muhlenberg College
	University of New Mexico
	New Mexico State University
	Oak Ridge National Laboratory (ORNL)
	Department of Physics and Astronomy, Ohio University
	Department of Chemistry, SUNY
	Department of Physics and Astronomy, SUNY
	University of Tennessee (UT)
	Vanderbilt University

出典：PHENIX グループホームページ

(2016 年 1 月 31 日現在)

付録 4. PHENIX グループ発表論文一覧

No	page	citation	タイトル	submitted	雑誌	published
35	11	67	Measurement of Single Electron Event Anisotropy in Au+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV	2005/2/4	PRC	2005/8/10
34	26	93	Production of phi mesons at mid-rapidity in $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV Au+Au collisions at RHIC	2004/10/8	PRC	2005/7/14
33	7	65	Saturation of azimuthal anisotropy in Au + Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=62 - 200$ GeV	2004/11/19	PRL	2005/6/17
32	6	242	Centrality Dependence of Direct Photon Production in $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV Au+Au Collisions	2005/3/7	PRL	2005/6/16
31	126	1487	Formation of dense partonic matter in relativistic nucleus nucleus collisions at RHIC: Experimental evaluation by the PHENIX Collaboration	2004/10/18	NPA	2005/5/24
30	6	81	Jet Structure of Baryon Excess in Au+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV	2004/8/7	prcR	2005/5/13
29	7	40	Mid-Rapidity Direct-Photon Production in p+p Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV	2005/2/2	prdR	2005/4/8
28	6	37	Deuteron and anti-deuteron production in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV	2004/6/1	PRL	2005/4/1
27	27	155	Systematic Studies of the Centrality and $\sqrt{s_{NN}}$ Dependence of $dE_T/d\eta$ and $dN_{ch}/d\eta$ in Heavy Ion Collisions at Mid-rapidity	2004/9/20	PRC	2005/3/25
26	6	60	Nuclear Modification Factors for Hadrons At Forward and Backward Rapidities in Deuteron-Gold Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV	2004/11/29	PRL	2005/3/4
25	6	146	Centrality Dependence of Charm Production from a Measurement of Single Electrons in Au+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV	2004/9/28	PRL	2005/3/2
24	6	64	Double Helicity Asymmetry in Inclusive Mid-Rapidity neutral pion Production for Polarized p+p Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV	2004/4/21	PRL	2004/11/12
23	6	149	Bose-Einstein Correlations of Charged Pion Pairs in Au+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV	2004/1/5	PRL	2004/10/8
22	6	77	Measurement of Non-Random Event-by-Event Average Transverse Momentum Fluctuations in $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV Au+Au Collisions	2003/10/6	PRL	2004/8/24
21	22	266	High-pt Charged Hadron Suppression in Au+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV	2003/8/8	PRC	2004/3/30
20	32	551	Identified Charged Particle Spectra and Yields in Au+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV	2003/7/28	PRC	2004/3/29
19	69	118	Single Identified Hadron Spectra from $\sqrt{s_{NN}}=130$ GeV Au+Au Collisions at RHIC	2003/7/9	PRC	2004/2/17
18	6	75	J/Psi production from proton-proton collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV	2003/7/8	PRL	2004/2/5
17	11	77	J/Psi production in Au-Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV	2003/5/27	PRC	2004/1/26
16	6	275	Midrapidity Neutral Pion Production in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV	2003/4/28	PRL	2003/12/11
15	6	497	Elliptic Flow of Identified Hadrons in Au+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV	2003/5/16	PRL	2003/10/30
14	6	206	Scaling properties of proton and anti-proton production in $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV Au+Au collisions	2003/5/30	PRL	2003/10/21
13	6	388	Absence of Suppression in Particle Production at Large Transverse Momentum in $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV d+Au Collisions	2003/6/18	PRL	2003/8/15
12	6	512	Suppressed π^0 Production at Large Transverse Momentum in Central Au+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV	2003/4/28	PRL	2003/8/13
11	19	106	Centrality Dependence of the High p _T Charged Hadron Suppression in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=130$ GeV	2002/7/17	PLB	2003/8/2
10	6	161	Flow Measurements via Two-particle Azimuthal Correlations in Au+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=130$ GeV	2002/6/10	PRL	2002/10/30
9	6	110	Measurement of lambda and lambda-bar particles in Au+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=130$ GeV	2002/4/17	PRL	2002/8/12
8	6	66	Net Charge Fluctuations in Au+Au Interactions at $\sqrt{s_{NN}}=130$ GeV	2002/3/21	PRL	2002/8/5
7	10	71	Event-by-event fluctuations in Mean p _T and mean η in $\sqrt{s_{NN}}=130$ GeV Au+Au Collisions	2002/3/22	PRC	2002/8/2
6	6	233	Centrality dependence of p _T , K _T , p and pbar production at RHIC	2001/12/17	PRL	2002/5/28
5	6	150	Measurement of single electrons and implications for charm production in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=130$ GeV	2002/2/5	PRL	2002/4/30
4	6	164	Transverse mass dependence of two-pion correlations in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=130$ GeV	2002/1/16	PRL	2002/4/30
3	6	685	Suppression of Hadrons with Large Transverse Momentum in Central Au+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=130$ GeV	2001/9/5	PRL	2001/12/21
2	6	142	Measurement of the Midrapidity Transverse Energy Distribution from $\sqrt{s_{NN}}=130$ GeV Au-Au Collisions at RHIC	2001/4/18	PRL	2001/7/17
1	6	236	Centrality Dependence of Charged Particle Multiplicity in Au-Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=130$ GeV	2000/12/21	PRL	2001/4/16

No	page	citation	タイトル	Particle-species dependent modification of jet-induced correlations in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	submitted	雑誌	published
70	6	17		Particle-species dependent modification of jet-induced correlations in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2007/12/18	PRL	2008/8/20
69	44	245		Dihadron azimuthal correlations in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2008/1/30	PRC	2008/7/2
68	13	98		Quantitative constraints on the transport properties of hot partonic matter from semi-inclusive single high transverse momentum pion suppression in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2008/1/10	PRC	2008/6/24
67	6	24		Source breakup dynamics in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV via three-dimensional two-pion source imaging	2007/12/28	PRL	2008/6/13
66	15	16		Centrality dependence of charged hadron production in deuteron-gold and nucleon-gold collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2007/8/17	PRC	2008/1/24
65	25	70		Transverse momentum and centrality dependence of dihadron correlations in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV: Jet-quenching and the response of partonic matter	2007/5/22	PRC	2008/1/7
64	6	26		Measurement of Single Muons at Forward Rapidity in p+p Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV and Implications for Charm Production	2006/9/18	PRD	2007/11/13
63	7	147		Inclusive cross section and double helicity asymmetry for π^0 production in p+p collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV: Implications for the polarized gluon distribution in the proton	2007/4/27	PRD	2007/9/25
62	23	108		A Detailed Study of High- p_T Neutral Pion Suppression and Azimuthal Anisotropy in Au+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2006/11/7	PRC	2007/9/25
61	32	25		Measurement of density correlations in pseudorapidity via charged particle multiplicity fluctuations in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2007/4/22	PRC	2007/9/21
60	6	78		Elliptic Flow for ϕ Mesons and (Anti)deuteron in Au + Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2007/3/14	PRL	2007/8/1
59	6	154		J/ψ production versus transverse momentum and rapidity in p+p collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2006/11/12	PRL	2007/6/7
58	6	333		J/ψ Production vs Centrality, Transverse Momentum, and Rapidity in Au+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2006/11/12	PRL	2007/6/7
57	6	68		System Size and Energy Dependence of Jet-Induced Hadron Pair Correlation Shapes in Relativistic Nuclear Collisions	2006/11/12	PRL	2007/6/7
56	12	18		Correlated Production of p and $\bar{p}$ in Au+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2006/11/13	PLB,	2007/6/14
55	6	34		Production of ω meson at Large Transverse Momenta in p+p and d+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2006/11/18	PRC	2007/5/9
54	6	408		Energy Loss and Flow of Heavy Quarks in Au+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2006/11/11	PRL	2007/4/24
53	6	91		Centrality Dependence of π^0 and η Production at Large Transverse Momentum in $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV d+Au Collisions	2006/10/25	PRL	2007/4/24
52	6	235		Scaling properties of azimuthal anisotropy in Au+Au and Cu+Cu collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2006/8/12	PRL	2007/4/16
51	6	30		Evidence for a long-range component in the pion emission source in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2006/5/26	PRL	2007/3/26
50	38	77		High transverse momentum η meson production in p+p, d+Au, and Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2006/11/6	PRC	2007/2/27
49	6	112		Measurement of Direct Photon Production in p+p collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2006/9/18	PRL	2007/1/5
48	6	185		Measurement of high- p_T Single Electrons from Heavy-Flavor Decays in p+p Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2006/9/6	PRL	2006/12/21
47	27	87		Jet Properties from Di-Hadron Correlations in p+p Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2006/5/12	PRD	2006/10/5
46	13	79		Nuclear Effects on Hadron Production in d+Au and p+p Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2006/3/8	PRC	2006/8/16
45	6	332		Modifications to Di-Jet Hadron Pair Correlations in Au+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2005/7/1	PRL	2006/8/2
44	6	29		Azimuthal Angle Correlations for Rapidity Separated Hadron Pairs in d+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2006/3/17	PRL	2006/6/8
43	4	31		An Update on the Double Helicity Asymmetry in Inclusive Midrapidity π^0 Production for Polarized ^3He Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2006/2/1	PRD	2006/5/25
42	6	111		Common suppression pattern of high p_T η and π^0 in Au+Au at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2006/1/26	PRL	2006/5/22
41	6	220		Nuclear Modification of Single Electron Spectra and Implications for Heavy Quark Energy Loss in Au + Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2005/10/17	PRL	2006/1/26
40	6	49		$\pi^0/\text{photon } v_2$ in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2005/8/16	PRL	2006/1/26
39	30	48		Jet Structure from dihadron correlations in d+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2005/10/7	PRC	2006/1/26
38	6	50		Single Electrons from Heavy-Flavor Decays in p+p Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2005/8/15	PRL	2006/1/26
37	6	136		J/ψ Production and Nuclear Effects for d+Au and p+p Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2005/7/28	PRL	2006/1/4
36	6	115		Measurement of Transverse Single-Spin Asymmetries for Mid-rapidity Production of Neutral Pions and Charged Hadrons in Polarized p+p Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2005/7/17	PRL	2005/11/1

No	page	citation	タイトル	submitted	雑誌	published
105	7	51	Suppression of back-to-back hadron pairs at forward rapidity in d+Au Collisions at $\sqrt{s}(\text{s_NN})=200$ GeV	2011/5/25	PRL	2011/10/18
104	48	94	Heavy Quark Production in p+p and Energy Loss and Flow of Heavy Quarks in Au+Au Collisions at $\sqrt{s}(\text{s_NN})=200$ GeV	2010/5/17	PRC	2011/10/10
103	13	5	Production of omega mesons in p+p, d+Au, Cu+Cu and Au+Au collisions at $\sqrt{s}(\text{s_NN})=200$ GeV	2011/5/17	PRC	2011/10/8
102	6	41	Cold Nuclear Matter Effects on J/ψ Yields as a Function of Rapidity and Nuclear Geometry in Deuteron-Gold Collisions at $\sqrt{s}(\text{s_NN})=200$ GeV	2010/10/6	PRL	2011/9/27
101	15	9	Suppression of away-side jet fragments with respect to the reaction plane in Au+Au collisions at $\sqrt{s}(\text{s_NN})=200$ GeV	2010/10/7	PRC	2011/8/9
100	18	8	Event Structure and Double Helicity Asymmetry in Jet Production from Polarized p+p Collisions at $\sqrt{s}(\text{s_NN})=200$ GeV	2010/9/27	PRD	2011/7/28
99	32	24	Identified charged hadron spectra in p+p collisions at $\sqrt{s}(\text{s})=200$ and 62.4 GeV	2011/2/3	PRC	2011/6/23
98	17	5	Azimuthal Correlations of Electrons from Heavy Flavor Decay with hadrons in Au+Au and p+p Collisions at $\sqrt{s}(\text{s})=200$ GeV	2010/11/7	PRC	2011/4/26
97	28	22	Measurement of neutral mesons in p+p collisions at $\sqrt{s}(\text{s})=200$ GeV and scaling properties of hadron production	2010/5/20	PRD	2011/3/16
96	11	10	Nuclear modification factors of phi mesons in d+Au, Cu+Cu and Au+Au collisions at $\sqrt{s}(\text{s_NN})=200$ GeV	2010/4/20	PRC	2011/2/18
95	6	30	Cross Section and Parity Violating Spin Asymmetries of $W^{+/-}$ Boson Production in Polarized p+p Collisions at $\sqrt{s}(\text{s})=500$ GeV	2010/9/2	PRL	2011/2/11
94	10	13	Cross section and double helicity asymmetry for eta mesons and their comparison to neutral pion production in proton-proton collisions at $\sqrt{s}(\text{s})=200$ GeV	2010/9/30	PRD	2011/2/1
93	18	16	High p.T. Direct Photon and p_0 Triggered Azimuthal Jet Correlations in $\sqrt{s}(\text{s})=200$ GeV p+p Collisions	2010/6/8	PRD	2010/10/4
92	6	55	Azimuthal anisotropy of neutral pion production in Au+Au collisions at $\sqrt{s}(\text{s_NN})=200$ GeV: Path-length dependence of jet quenching and the role of initial geometry	2010/6/18	PRL	2010/9/27
91	6	59	Elliptic and hexadecapole flow of charged hadrons in Au+Au collisions at $\sqrt{s}(\text{s_NN})=200$ GeV	2010/3/29	PRL	2010/8/4
90	7	13	Transverse momentum dependence of eta meson suppression in Au+Au collisions at $\sqrt{s}(\text{s_NN})=200$ GeV	2010/5/26	PRC	2010/7/27
89	11	35	Transverse momentum dependence of J/ψ polarization at mid-rapidity in p+p collisions at $\sqrt{s}(\text{s})=200$ GeV	2008/12/10	PRD	2010/7/7
88	6	43	Transition in yield and azimuthal shape modification in dihadron correlations in relativistic heavy ion collisions	2010/2/5	PRL	2010/6/21
87	56	122	Detailed measurement of the e^+e^- pair continuum in p+p and Au+Au collisions at $\sqrt{s}(\text{s_NN})=200$ GeV and implications for direct photon production	2009/12/1	PRC	2010/3/29
86	6	210	Enhanced production of direct photons in Au+Au collisions at $\sqrt{s}(\text{s_NN})=200$ GeV and implications for the initial temperature	2008/4/25	PRL	2010/3/29
85	10	1	Double Helicity Dependence of Jet Properties from Dihadrons in Longitudinally Polarized p+p Collisions at $\sqrt{s}(\text{s})=200$ GeV	2009/10/6	PRD	2010/1/15
84	35	42	High-pT π^0 zero Production with Respect to the Reaction Plane in Au + Au Collisions at $\sqrt{s}(\text{s_NN})=200$ GeV	2009/3/30	PRC	2009/11/13
83	6	17	Charged kaon interferometric probes of space-time evolution in Au+Au collisions at $\sqrt{s}(\text{s_NN})=200$ GeV	2009/3/28	PRL	2009/9/30
82	14	42	Photon-Hadron Jet Correlations in p+p and Au+Au Collisions at $\sqrt{s}(\text{s_NN})=200$ GeV	2009/3/20	PRC	2009/8/31
81	27	45	Systematic Studies of Elliptic Flow Measurements in Au+Au collisions at $\sqrt{s}(\text{s_NN})=200$ GeV	2009/5/9	PRC	2009/8/31
80	6	48	Measurement of Bottom versus Charm as a Function of Transverse Momentum with Electron-Hadron Correlations in p+p Collisions at $\sqrt{s}(\text{s})=200$ GeV	2009/3/30	PRL	2009/8/18
79	20	22	Photoproduction of J/ψ and of high mass e^+e^- in ultra-peripheral Au+Au collisions at $\sqrt{s}(\text{s_NN})=200$ GeV	2009/3/11	PLB	2009/8/13
78	6	47	Gluon-Spin Contribution to the Proton Spin from the Double-Helicity Asymmetry in Inclusive π^0 Production in Polarized p+p Collisions at $\sqrt{s}(\text{s})=200$ GeV	2008/10/6	PRL	2009/7/1
77	15	104	Cold Nuclear Matter Effects on J/ψ Production as Constrained by Deuteron-Gold Measurements at $\sqrt{s}(\text{s_NN})=200$ GeV (and Erratum)	2009/3/30	PRC	2009/5/29
76	10	48	Inclusive cross section and double helicity asymmetry for p_0 production in p+p collisions at $\sqrt{s}(\text{s})=62.4$ GeV	2008/10/6	PRD	2009/1/22
75	18	67	Dilepton mass spectra in p+p collisions at $\sqrt{s}(\text{s})=200$ GeV and the contribution from open charm	2008/2/1	PLB	2009/1/5
74	8	186	Suppression pattern of neutral pions at high transverse momentum in Au+Au collisions at $\sqrt{s}(\text{s_NN})=200$ GeV and constraints on medium transport coefficients	2008/1/25	PRL	2008/12/5
73	7	57	Onset of p+zero suppression studied in Cu+Cu collisions at $\sqrt{s}(\text{s_NN})=22.4, 62.4$, and 200 GeV	2008/1/30	PRL	2008/10/15
72	17	31	Charged hadron multiplicity fluctuations in Au+Au and Cu+Cu collisions from $\sqrt{s}(\text{s_NN})=22.5$ to 200 GeV	2008/5/11	PRC	2008/10/7
71	6	101	J/ψ Production in $\sqrt{s}(\text{s_NN})=200$ GeV Cu+Cu Collisions	2007/12/31	PRL	2008/9/18

No	page	citation	タイトル	submitted	雑誌	published
140	20		Measurement of $\langle K^0 S \rangle$ and $\langle K^+ \rangle$ in $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2014/5/14	PRC	2014/11/7
139	15		Cross Section and Transverse Single Spin Asymmetry of π^0 Mesons in $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2014/6/15	PRD	2014/10/20
138	12		Low Mass Vector Mesons Production at Forward Rapidity in p+p Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2014/5/16	PRD	2014/9/8
137	18		PHENIX Centrality Categorization in d+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2013/10/17	PRC	2014/9/5
136	13		System-size dependence of open-heavy-flavor production in nucleus-nucleus collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2013/10/31	PRC	2014/9/5
135	19		Inclusive Double-Helicity Asymmetries in Neutral Pion and Eta Meson Production in p+p Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2014/2/25	PRD	2014/7/17
134	16		Measurement of transverse-single-spin asymmetries for midrapidity and forward-rapidity production of hadrons in polarized p+p collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ and 62 GeV	2013/12/8	PRD	2014/7/17
133	8		Cold nuclear matter effects on heavy-quark production at forward and backward rapidities in d+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2013/10/3	PRL	2014/6/25
132	7		Azimuthal-angle dependence of charged-pion-interferometry measurements with respect to 2nd and 3rd-order event plane in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2014/2/10	PRL	2014/6/3
131	24		Transverse-energy distributions at midrapidity in p+p, d+Au, and Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 62.4 - 200$ GeV and implications for particle-production models	2013/12/24	PRC	2014/4/9
130	14		Heavy-flavor electron-muon correlations in p+p and d+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2013/11/6	PRC	2014/3/31
129	11		Azimuthal anisotropy of π^0 and eta mesons in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2013/9/18	PRC	2013/12/20
128	7		Quadrupole anisotropy in dihadron azimuthal correlations in central d+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2013/3/8	PRL	2013/11/20
127	7		Nuclear modification of π^0 , η , χ , and J/ψ production in d+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2013/5/24	PRL	2013/11/12
126	18		Spectra and ratios of identified particles in Au+Au and d+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2013/4/11	PRC	2013/8/22
125	17		Inclusive cross section and single transverse spin asymmetry for very forward neutron production in polarized p+p collision at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2012/9/16	PRD	2013/8/8
124	8		Medium modification of jet fragmentation in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV measured in direct photon-hadron correlations	2012/12/19	PRL	2013/7/16
123	7		Direct photon production in d+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2012/8/6	PRC	2013/5/17
122	14		Upsilon ($1S+2S+3S$) production in d+Au and p+p collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV and cold-nuclear matter effects	2012/11/19	PRC	2013/4/25
121	21		Neutral pion production with respect to centrality and reaction plane in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2012/8/12	PRC	2013/3/28
120	24		Transverse-Momentum Dependence of the J/ψ Nuclear Modification in d+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2012/4/3	PRC	2013/3/14
119	17		Double Spin Asymmetry of Electrons from Heavy Flavor Decays in p+p Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2012/9/16	PRD	2013/1/29
118	7		Cold-nuclear-matter effects on heavy-quark production in d+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 39$ to 200 GeV	2012/8/7	PRL	2012/12/12
117	10		J/ψ suppression at forward rapidity in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 39$ and 62.4 GeV	2012/8/12	PRC	2012/12/6
116	13		Measurement of Transverse Single-Spin Asymmetries for J/ψ Production in Polarized p+p Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV (and Erratum)	2010/9/27	PRD	2010/12/30
115	12		Cross Sections and Double Helicity Asymmetries of Mid-Rapidity Inclusive Charged Hadrons in p+p at $\sqrt{s_{NN}} = 62.4$ GeV	2012/2/21	PRD	2012/11/8
114	16		Direct Photon Production in p+p Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV in Mid-rapidity	2012/5/24	PRD	2012/10/23
113	7		Measurement of Direct Photons in Au+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2012/5/25	PRL	2012/10/12
112	7		Evolution of π^0 suppression in Au+Au collisions from $\sqrt{s_{NN}} = 39$ to 200 GeV	2012/4/8	PRL	2012/10/12
111	7		Observation of direct-photon collective flow in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2011/5/22	PRL	2012/9/19
110	16		Nuclear-Modification Factor for Open-Heavy-Flavor Production at Forward Rapidity in Cu+Cu Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2012/4/3	PRC	2012/8/20
109	16		Deviation from quark-number scaling of the anisotropy parameter v_2 of pions, kaons, and protons in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2012/3/12	PRC	2012/6/27
108	27		Ground and excited charmonium state production in p+p collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2011/5/10	PRD	2012/5/9
107	7		Measurements of Higher-Order Flow Harmonics in Au+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2011/5/19	PRL	2011/12/15
106	14		J/ψ suppression at forward rapidity in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV	2011/3/31	PRC	2011/11/21

付録 5. PHENIX グループ自己引用一覧

[illegible]

謝辞

本研究は、多数の方々のご支援のもとで進めることができました。まず、北陸先端科学技術大学院大学において、社会科学の研究について一からご指導いただいた主指導教員の梅本勝博教授に深く感謝いたします。修士課程から10年あまり、途中3度の転勤により研究が頓挫しかけた時も、継続して貴重なアドバイスをいただきました。

副指導教員として、また梅本教授定年退職後には主指導教員としてお力添えいただいた伊藤泰信准教授に、厚く御礼を申し上げます。科学人類学の立場から、大変有益なコメントを度々いただきました。さらに、副テーマ指導教員の神田陽治教授、最後に副指導教員をお引き受けいただいた宮田一乗教授に感謝いたします。

論文の審査にあたりまして、内部審査員である小坂満隆教授、橋本敬教授、敷田麻実教授、そして外部審査員として政策研究大学院大学の隅藏康一教授から、非常に貴重なアドバイスや意見をいただきました。心から感謝申し上げます。

本研究に多大なご協力をいただいた PHENIX グループ、理研 BNL 研究センター、理化学研究所仁科加速器科学研究センター延與放射線研究室、ならびにブルックヘブン国立研究所のスタッフの皆さまに感謝いたします。その中でも、度々インタビューやメールで質問に答えて下さった理研 BNL 研究センター実験グループ秋葉康之グループリーダー、仁科加速器科学研究センター延與秀人センター長には、深く感謝申し上げます。特に、秋葉博士のご協力なくしては、この研究は成立しませんでした。

本研究を進めることになった直接のきっかけは、2010年6月10日にBNLで行われたシンポジウム『Celebration of 90/50/10』に参加したことです。ビッグ・サイエンスの老舗であるBNLの底力に対して非常に感銘を受け、Nicholas P. Samios 博士に講演内容についてインタビューを行ったのが、本研究の先鞭となりました。Samios 博士に感謝申し上げます。

最後に、フルタイムで勤務しながらの無謀と思える社会人大学院生生活を温かく見守ってくれた、職場の上司・知人・友人・梅本研究室の方々・MOT2.5期の仲間、そして家族に感謝の言葉を贈ります。