

**(独) 科学技術振興機構
戦略的創造研究推進事業
チーム型研究(CREST)
追跡評価用資料**

研究領域 「地球変動のメカニズム」

(1997-2006)

研究総括 浅井 富雄

2010.07.09

追跡調査要旨

(1) 追跡調査の目的

CREST 事業は、「科学技術創造立国」をめざし、明日の科学技術につながる知的資産の形成を図ることを目的とし、大学や国立試験研究機関などの研究ポテンシャルを活用しつつ、重点化した基礎研究を推進するものとして平成 7 年度に発足した。その後平成 14 年度には、国の科学技術政策や社会的・経済的ニーズを踏まえ、国が定めた戦略目標の達成に向けた基礎的研究を推進する戦略的創造研究推進事業として再編成されて今日に至っている。CREST の研究は研究総括のマネジメントのもと、研究総括と領域アドバイザーの助言を得て、研究代表者を中心とした研究チームを複数編成して推進される。

CREST 事業は平成 21 年度までに発足した 63 研究領域のうち、既に 32 研究領域が 5 年間の研究実施期間を終了し、成果の展開期に入っている。基礎研究の推進を目的とする CREST においては、研究成果の学術的な評価を得ることや研究結果が実用化などに発展するには、一定の期間が必要になると思われる。このため独立行政法人科学技術振興機構 (JST) では、領域終了から 5 年経過を目途に「研究終了後一定期間を経過した後、副次的効果を含めて研究成果の発展状況や活用状況等を明らかにし、事業及び事業運営の改善に資すること」を目的とする追跡調査を実施することとした。

平成 9 年度に発足し平成 16 年度に終了した「地球変動のメカニズム」領域を取り上げて追跡調査を行い、当該領域において実施された各課題に関して、□研究成果から生み出された社会的・経済的な効果・効用および波及効果、□科学技術の進展への貢献を明らかにすることを目的とするものである。

本研究領域は、地球環境に関して、地球規模の諸現象の解明とその予測に必要となる研究を対象とし、具体的には、地球規模での気候変動、水循環、地球温暖化、大気組成の変動、生態系の変動および地球内部変動についてのメカニズムに関し、これらを明らかにするためのプロセスの研究およびそのモデルの研究などを対象として実施された。

(2) 研究領域における全課題の研究成果の発展状況や活用状況

本研究領域の各研究課題研究期間中に発表された原著論文数は 13 の研究課題全体で 741 報であった。そのうち平成 21 年 9 月の調査時点で被引用件数が 100 件を超えている原著論文数は 13 報(発表論文数の 1.8%)であった。さらに、発表論文の属する学術分野、発表年ごとの被引用件数上位 1% (トムソンロイター社による公表値) に含まれる論文が同じく 13 報あった (表 A)。特許についてみると、本研究期間中に依頼されたパテントファミリー数は本研究領域全体で 17 件であり、出願特許総数は 46 件であった。そのうち平成 21 年 9 月の調査時点で特許として成立していたのは、国内・海外を含めて 19 件 (成立率 : 41.3%)

であった（表 A）。以上の客観的な数値データより、本研究期間中の成果は調査対象分野の科学技術の進展に大きく貢献していると言えよう。

本研究終了後の状況についてみると、各課題の研究代表者は本研究終了以降においても研究展開・発展にともなう研究予算を獲得していた（表 B）。そのうち JST の発展研究 (SORST) として継続しているのが 3 件あり、他の CREST に 1 件採択されていた。本研究終了後の原著論文については、各課題の研究代表者が著者となっているもので、本研究課題に関連すると思われるものをキーワード検索により抽出した。本研究領域全体の原著論文数は、本研究期間中と比較すると少なくなっているものの 224 報に上っていた。そのうち平成 21 年 9 月の調査時点で被引用件数が 100 件を超えている原著論文数が 3 報あり、被引用件数上位 1% に含まれる論文数も 5 報あった（表 A）。特許については、各課題の研究代表者が発明者となっている特許を抽出したが、いずれも本研究課題との関連性があると判断されるものであった。本研究終了後に出願されたパテントファミリー数は本研究領域全体で 7 件であり、出願特許総数は 8 件であった。調査時点で特許として成立していたのは、国内・海外を含めて 2 件（成立率：25.0%）であった（表 A）。以上のことから、CREST において実施された各課題研究が、引き続いて基礎研究の進展に大きく貢献していることが判明した。

(3) 研究成果から生み出された科学技術的、社会的および経済的な波及効果

詳細調査対象として抽出した 5 研究課題（研究代表者名：若土正暁、浅野(中静)徹、小池俊雄、才野敏郎、中島映至）については、科学技術的、社会的、経済的な効果、効用および波及効果について聞き取りを主体とした調査を行った。

若土の研究は、2004 年に設立された北海道大学低温科学研究所内の環オホーツク観測研究センターでの研究に主に引継がれて展開されている。本研究での成果は、オホーツク海から北太平洋にかけての研究の深化に寄与しているのみならず、南大洋・南極海における海洋循環の解明に活用されるなど、同センターは寒冷圏環境科学分野の国際研究拠点として発展しつつある。

浅野(中静)の研究では世界最高水準の森林研究観測施設の一つである高さ 80m の林冠クレーンが構築された。東南アジアで唯一の本クレーンは、2003 年度からの CREST 研究「熱帯モンスーンアジアにおける降水変動が熱帯林の水循環・生態系に与える影響」でも活用されるなど、本研究終了後も有効に維持・活用されており、世界的にも重要な観測拠点との認識が高まっている。また、熱帯樹林の一斉開花現象に関しては、その気象トリガーが乾燥であることを科学的に実証する研究が継続された。

小池の研究は第二の CREST 「水循環系の物理的ダウンスケーリング手法の開発」に継承され、地球観測衛星を用いた陸面水水量のモニタリングシステム、チベット集中観測データ等を活かした研究が継続された。小池は地球規模の水循環の観測、情報共有の推進を図るため、GEOSS（全球地球観測システム）の 10 年実施計画の立案、AWCI（アジア水循環

イニシアティブ) の計画・実行に関与するなど、世界レベルで本分野の発展に貢献している。

才野の研究は、発展研究 **SORST**「人工衛星による海洋基礎生産モニタリング」に継承された。**SORST** では、本研究で開発された自動昇降式ブイと測定システムの本格的運用が図られ、さらに海洋基礎生産の広域・長期観測システムの実用化、現場海域における衛星データの検証法の開発が行われている。また才野が現在プログラムディレクターを務める(独)海洋開発機構では、インド洋、南極などで水環境の研究が継続されている。

中島は人為起源エアロゾルの強制放射力に関する直接効果、間接効果を正確に評価し、地球温暖化予測における最大の不確定要因の一つとされるエアロゾルの大気熱収支に及ぼす影響の解明に貢献した。本研究で開発されたスカイラジオメーターはその後市販され国際的にも活用されている。中島は **NASA** の **AERONET**、**UNEP** の **ABC** プロジェクト、**Earth Care** など重要な役割を果たしており、国際的に活動している。またノーベル賞を受賞した **IPCC-AR4** (2007 年) では **WG1** の **Review Editor** を努め、本研究の成果が盛り込まれた。

目次

第1章 調査概要.....	3
1-1 調査の対象と調査方法	3
1-1-1 研究領域の概要	3
1-1-2 調査方法	5
1-2 全研究課題の調査の纏め.....	9
1-2-1 研究者情報	9
1-2-2 研究助成金	10
1-2-3 論文	11
1-2-4 特許	16
1-2-5 受賞	20
1-3 代表事例について	21
第2章 研究領域における研究の継続・発展状況.....	22
2-1 研究領域としてのねらいと達成状況.....	22
2-2 研究課題ごとの研究のねらいと研究期間中の達成状況および研究終了後の継続・発展の状況	23
2-2-1 黒潮変動予測実験（研究代表者：今脇 資郎）	23
2-2-2 北西太平洋の海洋生物化学過程の時系列観測（研究代表者：野尻 幸宏）	24
2-2-3 超伝導受信器を用いたオゾン等の大気微量分子の高度分布測定装置の開発（研究代表者：福井 康雄）	25
2-2-4 衛星観測による植物生産量推定手法の開発（研究代表者：本多 嘉明）	26
2-2-5 オホーツク海氷の実態と気候システムにおける役割の解明（研究代表者：若土 正暁）	27
2-2-6 熱帯林の林冠における生態圏－気圏相互作用のメカニズムの解明（研究代表者：浅野(中静) 透）	28
2-2-7 海洋大気エアロゾル組成の変動と影響予測（研究者代表：植松 光夫）	29
2-2-8 大気-陸域相互作用のモデル化と衛星観測手法の開発（研究代表者：小池 俊雄）	30
2-2-9 メソ対流系の構造と発生・発達メカニズムの解明（研究者代表：吉崎 正憲）	31
2-2-10 化学的摂動法による大気反応機構解明（研究代表者：梶井 克純）	32
2-2-11 衛星利用のための実時間海洋基礎生産計測システム（研究代表者：才野 敏郎）	33
2-2-12 アジア域の広域大気汚染による大気粒子環境の変調（研究代表者：中島 映至）	34
2-2-13 太陽輻射と磁気変動の地球変動への影響（研究代表者：吉村 宏和）	35

第3章 研究成果から生み出された科学技術的、社会的および経済的な波及効果.....	36
3-1 オホーツク海氷の実態と気候システムにおける役割の解明（研究代表者：若土 正暁）	
.....	36
3-1-1 研究期間中における状況.....	36
3-1-2 研究終了後の基礎研究としての継続・発展状況.....	38
3-1-3 研究成果から生み出された科学技術的・社会的・経済的な効果・効用および波及	
効果.....	40
3-2 熱帯林の林冠における生態圏－気圏相互作用のメカニズムの解明（研究代表者：浅野	
（中静）透）.....	42
3-2-1 研究期間中における状況.....	42
3-2-2 研究終了後の基礎研究としての継続・発展状況.....	43
3-2-3 研究成果から生み出された科学技術的・社会的・経済的な効果・効用および波及	
効果.....	44
3-3 大気-陸域相互作用のモデル化と衛星観測手法の開発（研究代表者：小池 俊雄）	46
3-3-1 研究期間中における状況.....	46
3-3-2 研究終了後の基礎研究としての継続・発展状況.....	47
3-3-3 研究成果から生み出された科学技術的・社会的・経済的な効果・効用および波及	
効果.....	48
3-4 衛星利用のための実時間海洋基礎生産計測システム（研究代表者：才野 敏郎）	51
3-4-1 研究期間中における状況.....	51
3-4-2 研究終了後の基礎研究としての継続・発展状況.....	52
3-4-3 研究成果から生み出された科学技術的・社会的・経済的な効果・効用および波及	
効果.....	52
3-5 アジア域の広域大気汚染による大気粒子環境の変調（研究代表者：中島 映至）	54
3-5-1 研究期間中における状況.....	54
3-5-2 研究終了後の基礎研究としての継続・発展状況.....	55
3-5-3 研究成果から生み出された科学技術的・社会的・経済的な効果・効用および波及	
効果.....	56
3-6 まとめ.....	58

第1章 調査概要

1-1 調査の対象と調査方法

1-1-1 研究領域の概要

(1) 戦略目標

「環境にやさしい社会の実現」

地球上の人口は現在約 58 億人であり、1970 年を境に増加は減速しつつあるものの、依然として年率 1.5% で増加しており、2025 年には 83 億人、2050 年には 98 億人に達すると予想されている。今後人類が、真に豊かで快適な生活を実現し、維持していくためには、地球規模での無制限な開発や化石燃料の過剰使用等による環境の破壊を来すことなく、必要な食料及びエネルギーを確保するとともに、種々の人間活動やその結果生じる廃棄物等の生態系への影響を極力低減していくことが重要である。近年顕在化してきた内分泌かく乱物質の問題については、科学的に不明な点が数多く残されており、早急に知見を集積し、必要な対策を立てていくことが重要である。このためには、地球規模の諸現象の解明とその予測を行うとともに、これらを基礎として人間の諸活動の環境への影響を正確に把握することや、環境保全関連技術の確立、内分泌かく乱物質の生体への影響の把握が不可欠であり、それらを踏まえて環境にやさしい社会を構築していくことが必要である。したがって、戦略目標を、地球変動のメカニズムの解明とその予測、環境への影響の把握、環境保全関連技術の確立、内分泌かく乱物質の生体への影響メカニズムの解明等により人間の諸活動の環境への負荷の低減を目指す「環境にやさしい社会の実現」とする。

(2) 領域名称

「地球変動のメカニズム」

(3) 領域の概要

地球環境に関して、地球規模の諸現象の解明とその予測に必要な研究を対象とする。具体的には、地球規模での気候変動、水循環、地球温暖化、大気組成の変動、生態系の変動および地球内部変動についてのメカニズムに関し、これらを明らかにするためのプロセスの研究およびそのモデルの研究などが対象となる。

(4) 研究総括

研究総括は、戦略目標達成に向けた研究を推進するため、バーチャルインスティテュートとなる研究領域の長として、採択課題の決定、研究計画（研究費、研究チーム編成を含む）の調整、研究代表者との意見交換、研究への助言、課題評価、その他必要な手段を通じて研究領域の研究マネジメントを行う。本領域の研究総括の所属機関等を表 1 に示す。

表 1 研究総括 (敬称略)

氏名	所属 (当時)	所属 (現)
浅井 富雄	東京大学 名誉教授	東京大学 名誉教授 (財) 日本海洋化学振興財団 会長

(5) 研究代表者と研究課題一覧

表 2～表 4 に、本調査の対象とした各研究課題の研究代表者名と研究課題名を、採択年度ごとに一覧の形に纏めて示す。採択年度は平成 9 年度から平成 11 年度までの 3 年間に亘っており、研究期間は各々平成 9 年 11 月～平成 14 年 10 月、平成 10 年 12 月～平成 15 年 11 月、平成 11 年 11 月～平成 17 年 3 月 (才野研究代表者および中島研究代表者の課題は平成 16 年 10 月まで) である。

表 2 研究代表者と研究課題一覧 (平成 9 年度採択分)

No.	研究代表者名	研究課題名
1	今脇 資郎	黒潮変動予測実験
2	野尻 幸宏	北西太平洋の海洋生物化学過程の時系列観測
3	福井 康雄	超伝導受信器を用いたオゾン等の大気微量分子の高度分布測定装置の開発
4	本多 嘉明	衛星観測による植物生産量推定手法の開発
5	若土 正暁	オホーツク海氷の実態と気候システムにおける役割の解明

表 3 研究代表者と研究課題一覧 (平成 10 年度採択分)

No.	研究代表者名	研究課題名
6	浅野(中静) 透	熱帯林の林冠における生態圏-気圏相互作用のメカニズムの解明
7	植松 光夫	海洋大気エアロゾル組成の変動と影響予測
8	小池 俊雄	大気-陸域相互作用のモデル化と衛星観測手法の開発
9	吉崎 正憲	メソ対流系の構造と発生・発達のメカニズムの解明

表 4 研究代表者と研究課題一覧 (平成 11 年度採択分)

No.	研究代表者名	研究課題名
10	梶井 克純	化学的摂動法による大気反応機構解明
11	才野 敏郎	衛星利用のための実時間海洋基礎生産計測システム
12	中島 映至	アジア域の広域大気汚染による大気粒子環境の変調
13	吉村 宏和	太陽輻射と磁気変動の地球変動への影響

本研究領域の各研究課題 (研究代表者名で表示) をマッピングした結果を図 1 に示す。各研究課題は、「太陽」、「大気」、「海洋」、「陸域」、「生態」に関連するテーマとして分類される。

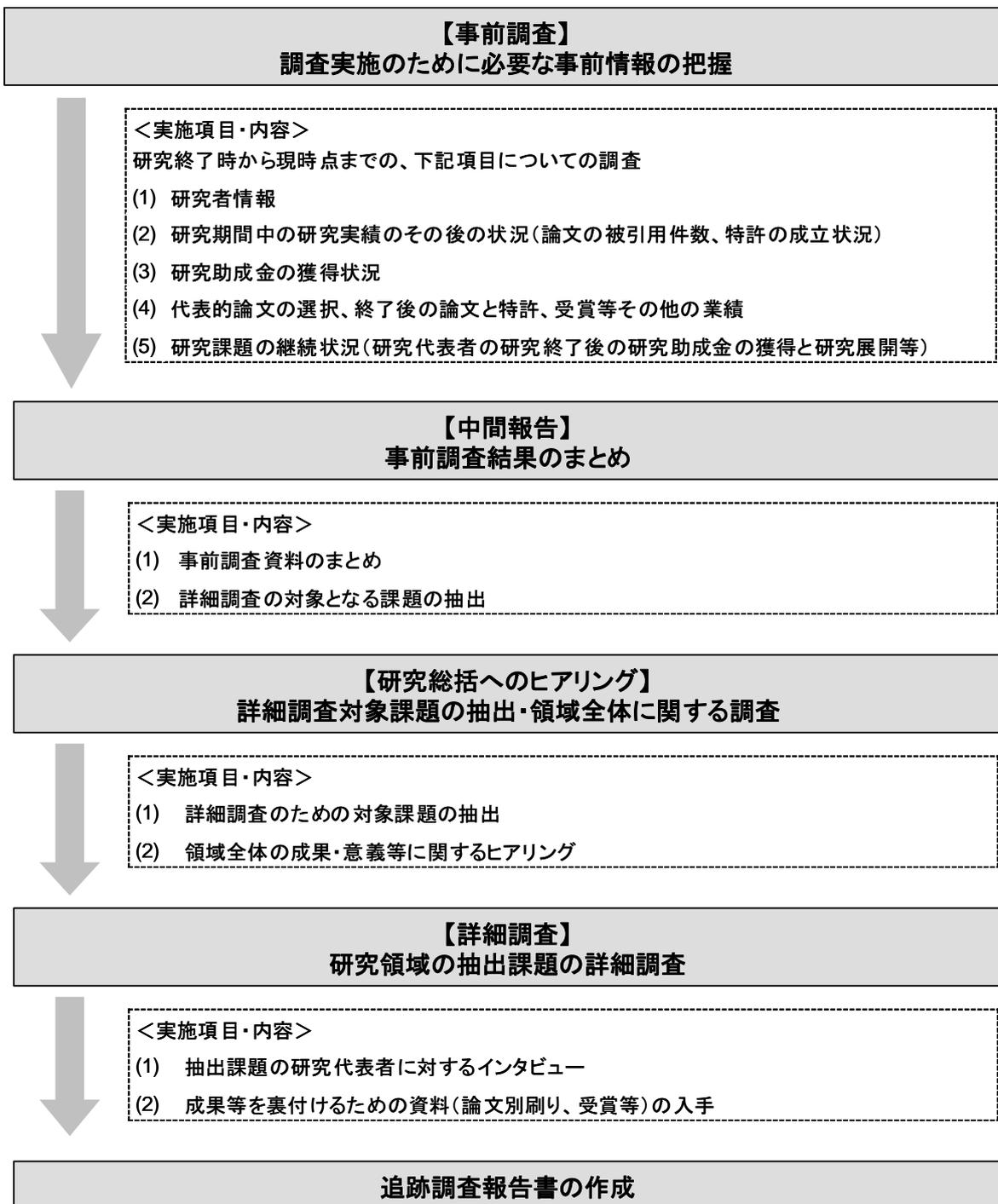


図 2 追跡調査の実施フローチャート

(1) 事前調査

事前調査として、研究領域終了から本調査時点までの概要を把握するための文献調査、研究業績を把握するための各種データベースによる調査を行った。

A.文献調査

調査対象とした文献は、研究領域に関連する報告書、研究領域の参加研究者による解説文献、原著論文等であった。

研究領域に関連する報告書としては、事後評価報告書、研究終了報告書を主たる調査対象とした。その他、中間評価報告書、研究年報、CRESTのホームページも適宜参照した。

解説文献、原著論文等については、研究終了報告書に掲載されている論文、文献の中から選ぶことを基本としたが、場合によってはWeb上での調査も行い、研究代表者のホームページを参照した。

B.各種データベース調査

論文、特許、受賞、競争的資金獲得状況等について、Web情報、各種データベース等を参照して調査した。

①研究者情報

各研究課題の研究代表者については、本研究採択時、本研究終了時、および調査時点での所属・役職、連絡先等を調査した。情報ソースとしては、研究領域に関連する報告書、科学技術振興機構（以下、JSTと略記）提供資料、研究代表者のホームページを参照した。

②研究助成金

各研究課題の研究代表者が、本研究以降に獲得した研究助成金について調査した。内閣府の競争的研究資金制度一覧¹に掲載されている制度名を対象として、それぞれの制度のデータベースを参照した。

③発表論文

本研究に関連して発表された論文の被引用件数は、トムソン・ロイター社のWeb of Scienceを用いて調査した。調査対象の論文は、本研究期間中の発表論文、本研究終了後の論文に大別される。本研究期間中の論文としては、各研究課題の終了報告書で「主な研究成果」としてリストアップされている論文を調査対象とした。本研究終了後の論文としては、研究代表者が著者となっている論文に限定し、更に本研究との関連性があるものを調査対象とした。具体的には、研究代表者名と本研究のキーワード、および本研究終了後の期間を検索条件としてWeb of Scienceを用いた検索を行った。得られた論文リストについて書誌事項および抄録をチェックし、同姓同名の他者の論文などのノイズを排除した。本研究と関連性がある論文に絞り込むに当たってのポイントはキーワードの選択であった。

¹ <http://www8.cao.go.jp/cstp/compefund/index.html>

キーワードは事後評価報告書、研究終了報告書および本研究期間中論文の検索結果として得られる抄録を参考にして、本研究期間中の論文が全て検索できるようなキーワード群を選定し、それらを「OR」で連結した。

論文の被引用件数については、被引用件数上位1%に含まれているか否かについても調査した。トムソン・ロイター社のESI (Essential Science Indicator)²では、直近の11年間に発表された論文について、論文の発表年、論文の属する学術分野ごとに被引用件数の上位1%にあたる被引用件数を公表している。この値以上の被引用件数を得ている論文を、被引用件数上位1%に含まれる論文として抽出した。

④特許

本研究期間中の出願特許および本研究終了後の出願特許について、海外等への関連出願の有無、調査時点におけるそれらの登録状況を調査した。本研究期間中の出願特許としては、各研究課題の終了報告書で「主な研究成果」としてリストアップされている出願特許を調査対象とした。本研究終了後については、研究代表者が発明者となっているもので、本研究終了時点から調査時点までの期間に出願された特許を調査対象とした。

使用したデータベースは、国内出願特許については、日本国特許庁の電子図書館の検索データベース³、国際出願特許については、欧州特許庁の esp@cenet⁴であった。まず国内出願特許について登録状況等を調査し、各々の国内出願特許に対して優先権主張関係で関連のある国際出願特許を esp@cenet で調査した。国内出願特許と、優先権主張関係で関連のある出願特許の群を1つのパテントファミリーとして整理した。

⑤受賞

本研究期間中については、各研究課題の終了報告書で「主な研究成果」としてリストアップされている受賞を整理した。さらに研究代表者のホームページを参照して、本研究期間中および本研究終了後の受賞を追加調査した。

(2) 研究総括へのヒアリング

本研究領域発足当時の関連分野における研究の現状と本領域のねらい、個々の研究課題の成果、また、研究領域としての成果と意義を伺った。さらに、事前調査資料を基に、終了後の研究の継続・発展の状況、社会的あるいは経済的な波及効果等についても意見を求め、主要な研究課題を抽出した。

(3) 抽出課題の詳細調査

事前調査結果ならびに研究総括との相談の上、本研究領域全体を俯瞰するにふさわしく、

² <http://www.thomsonscientific.jp/products/esi/>

³ <http://www.ipdl.inpit.go.jp/homepg.ipdl>

⁴ http://ep.espacenet.com/advancedSearch?locale=jp_EP

詳細調査の対象とする課題 5 件を抽出した。5 課題の研究代表者の研究室を訪問し、本研究終了後の基礎研究としての継続・発展状況や、研究成果から生み出された科学技術的な効果・効用および波及効果、研究成果から生み出された社会的、経済的な効果・効用および波及効果等をインタビュー形式で調査した。調査時には事前調査結果を取り纏めた資料を提供し、研究代表者の参考に供した。

1-2 全研究課題の調査の纏め

1-2-1 研究者情報

各研究課題の研究代表者について、本研究採択時、本研究終了時、および調査時点での所属および役職を表 5 に纏めた。

表 5 研究者情報

No.	採択年度	研究代表者	所属 (CREST 採択時)	所属 (CREST 終了時)	所属 (現在)
1	H09	今脇資郎	九州大学 応用力学研究所 教授	九州大学 応用力学研究所 教授	(独)海洋研究開発機構 理事 (常勤)
2		野尻幸宏	環境庁国立環境研究所 地球環境研究グループ 総合研究官	(独)国立環境研究所 地球温暖化研究プロジェクト 炭素循環研究チーム 総合研究官	(独)国立環境研究所 地球環境研究センター 副センター長
3		福井康雄	名古屋大学 大学院理学研究科 教授	名古屋大学 大学院理学研究科 教授	名古屋大学 大学院理学研究科附属南半球 宇宙観測研究センター センター長
4		本多嘉明	千葉大学 環境リモートセンシング 研究センター 助教授	千葉大学 環境リモートセンシング 研究センター 助教授	千葉大学 環境リモートセンシング研 究センター 准教授
5		若土正暁	北海道大学 低温科学研究所 教授	北海道大学 低温科学研究所 教授	北海道大学 名誉教授 日本学術会議 連携会員
6	H10	浅野(中静)透	京都大学 生態学研究センター 教授	総合地球環境学研究所 研究部 教授	東北大学 大学院生命科学研究所 教授
7		植松光夫	東京大学 海洋研究所 助教授	東京大学 海洋研究所 助教授	東京大学 海洋研究所附属海洋科学国 際共同センター センター長・教授
8		小池俊雄	長岡技術科学大学 工学部 助教授	東京大学 大学院工学系研究科 教授	東京大学 大学院工学系研究科社会基 盤学専攻 教授

9		吉崎正憲	気象研究所 予報研究部 室長	気象研究所 予報研究部 室長	(独)海洋研究開発機構 地球環境観測研究センター プロジェクトディレクター
10		梶井克純	東京大学 先端科学技術研究センター 助教授	東京都立大学 大学院工学研究科 教授	首都大学東京 都市環境学部材料化学コース 教授
11	H11	才野敏郎	名古屋大学 大気水圏科学研究所 教授	名古屋大学 地球水循環研究センター 教授	(独)海洋研究開発機構 地球環境観測研究センター プログラムディレクター
12		中島映至	東京大学 気候システム研究センター 教授	東京大学 気候システム研究センター センター長・教授	東京大学 気候システム研究センター センター長・教授
13		吉村宏和	東京大学 大学院理学系研究科 助教授	東京大学 大学院理学系研究科 助教授	東京大学 大学院理学系研究科 2009年3月 定年退職

1-2-2 研究助成金

各研究課題の研究代表者が本研究開始以降に獲得した研究助成金のうち、当該研究助成金の代表者となっており金額が10百万円以上のものについて、表6に集計した。また本研究開始時点から調査時点（現在）までの経過期間が採択年度ごとに異なることを考慮し、採択年度ごとにグラフ化したものを図3～図5に示す。なお一覧表および経時的グラフを表Bに示す。

表6 研究助成金の獲得数（研究代表者が、本研究開始以降、代表者として獲得した10百万円以上の助成金）

No.	採択年度	研究代表者名	JST 助成金		科研費	その他	合計
			CREST	SORST			
1	H09	今脇 資郎	0	0	2	0	2
2		野尻 幸宏	0	0	0	3	3
3		福井 康雄	0	1	7	2	10
4		本多 嘉明	0	1	0	0	1
5		若土 正暁	0	0	2	0	2
6	H10	浅野(中静) 透	0	0	3	1	4
7		植松 光夫	0	0	3	3	6
8		小池 俊雄	1	0	4	1	6
9		吉崎 正憲	0	0	0	0	0
10	H11	梶井 克純	0	0	2	0	2
11		才野 敏郎	0	1	0	0	1
12		中島 映至	0	0	1	1	2
13		吉村 宏和	0	0	0	0	0

領域全体では科研費の獲得件数が多かった。内訳はJST助成金であるCRESTが1件、

SORST が 3 件であり、科研費が 24 件、その他が 11 件である。

個人別に見ると、平成 9 年度採択の福井研究代表者（以下、福井（敬称略）、他も同様）（合計 10 件）、平成 10 年度採択の植松（合計 6 件）、小池（合計 6 件）が多くの資金を獲得していた。また小池は本研究終了後も他の CREST 領域に切れ目無く採択されており、継続して大型資金を獲得して研究を継続・展開させていた。また平成 9 年度採択の福井、本多、平成 11 年度採択の才野の 3 名は発展研究 SORST に採択され、文字通り本研究を継続・発展させていた。これらは本研究の成果が評価されていることの反映と考えられる。

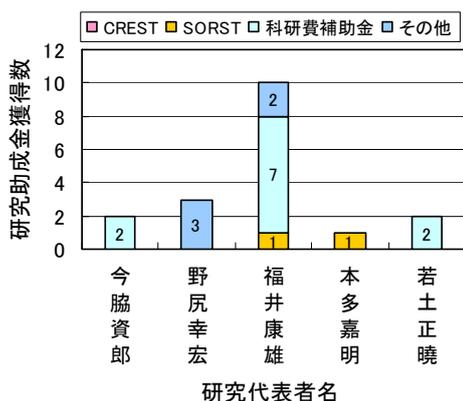


図 3 研究助成金獲得数（H9 採択課題）

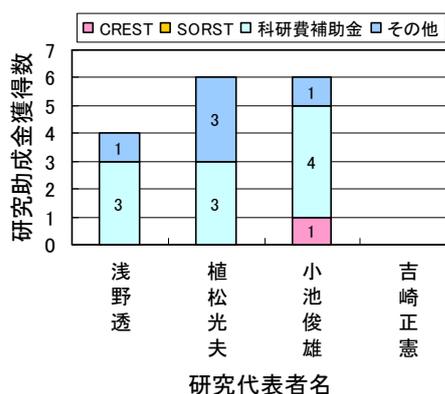


図 4 研究助成金獲得数（H10 採択課題）

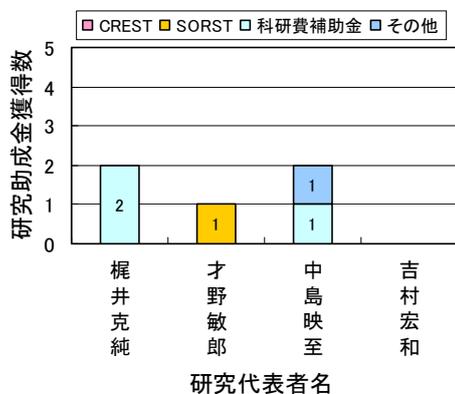


図 5 研究助成金獲得数（H11 採択課題）

1-2-3 論文

本研究期間中、本研究終了後の発表論文に関する各種指標を表 7 に示す。なお、本研究終了後の発表論文は、1-1-2.A.文献調査に示したとおり、研究代表者の発表論文のうち本研究に関連のある論文のみを抽出したものである。

表 7 発表論文に関する研究課題別の各種指標

No.	採択年度	研究代表者	原著論文														
			研究期間中の論文								期間終了後の研究代表者の論文						
			全論文数 (和文、 検索対象 外論文を 含む)	論文数 (検索 対象)	被引用 件数/ 年 平均	平均被 引用件 数	最高被 引用件 数	被引用 件数 ≥100 の論文 数	50≤被 引用件 数<100 の論文 数	Top1% に入る 論文数	論文数	被引用 件数/ 年 平均	平均被 引用件 数	最高被 引用件 数	被引用 件数 ≥100 の論文 数	50≤被 引用件 数<100 の論文 数	Top1% に入る 論文数
1	H9	今脇 資郎	31	14	1.83	16.8	47	0	0	0	8	0.77	3.9	13	0	0	0
2		野尻 幸宏	13	13	2.96	23.8	56	0	1	0	23	5.85	36.4	403	3	0	4
3		福井 康雄	27	15	1.92	18.5	108	1	0	1	3	0.00	0.0	0	0	0	0
4		本多 嘉明	8	0	0.00	0.0	0	0	0	0	11	0.39	1.6	7	0	0	0
5		若土 正暁	23	22	1.85	17.0	59	0	1	0	42	1.08	6.0	39	0	0	0
6	H10	浅野(中静) 透	104	34	2.09	18.0	84	0	3	0	19	0.64	2.5	17	0	0	0
7		植松 光夫	134	89	4.51	40.1	1144	6	4	5	21	1.63	5.7	30	0	0	1
8		小池 俊雄	21	10	1.07	8.8	13	0	0	0	20	1.29	6.4	22	0	0	0
9		吉崎 正憲	25	3	1.49	9.3	16	0	0	0	14	0.55	2.6	11	0	0	0
10	H11	梶井 克純	33	24	2.34	16.2	67	0	2	1	17	0.90	2.8	16	0	0	0
11		才野 敏郎	160	61	2.15	16.6	167	1	1	1	15	0.74	3.0	19	0	0	0
12		中島 映至	160	106	3.46	28.0	274	5	13	5	31	0.77	2.7	13	0	0	0
13		吉村 宏和	2	2	0.00	0.0	0	0	0	0	0	0.00	0.0	0	0	0	0

- 注 1) 全論文数とは、研究終了報告書に掲載されている論文の数
 2) 論文数とは、検索 DB (Web of Science) に収録されている論文の数
 3) 被引用件数/年 の平均とは、2)で定義した各論文についての被引用件数を、当該論文の発表年から調査時点までの経過年数で除したもの(被引用件数/年)を、2)で定義した全論文について平均したもので、各論文の経過年数の差を補正したもの
 4) 平均被引用件数とは、2)で定義した各論文の被引用件数を単純平均したもの
 5) 最高被引用件数とは、2)で定義した全発表論文の中で最高の被引用件数を示した論文の、その被引用件数
 6) Top1%に入る論文数とは、2)で定義した全発表論文の中で、ESI 定義による被引用件数上位1%に含まれる論文(8ページ参照)の数

(1) 発表論文数

発表論文数は、研究活動の度合いを示す指標と考えられる。本研究期間中の全論文数および終了後の論文数について、採択年度ごとにグラフ化したものを図 6～図 8 に示す。本研究期間中の全論文数は、研究終了報告書に掲載されている全論文の数（和文も含む）であり、研究代表者が著者になっていない論文も含んでいるのに対して、終了後の論文数は、キーワード検索により抽出された論文の数（原則として和文を含まない）で、研究代表者が著者に含まれる論文に限定されている。従って本研究期間中と終了後との論文数の比較には注意が必要である。その上で本研究期間中と終了後とを比較すると、領域全体の発表論文数は、本研究期間中の 741 報に対して終了後は 224 報で、期間中の 30%に相当していた。本研究終了後の論文発表数は必ずしも多いとは言えないと思われる。1 研究課題あたり発表論文数は、本研究期間中が 57.0 報、終了後が 17.2 報であった。

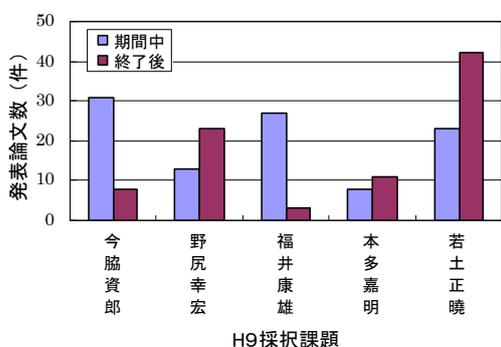


図 6 発表論文数 (H9 採択課題)

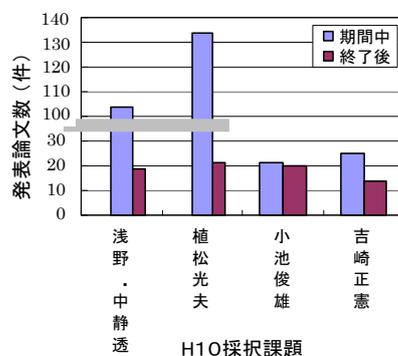


図 7 発表論文数 (H10 採択課題)

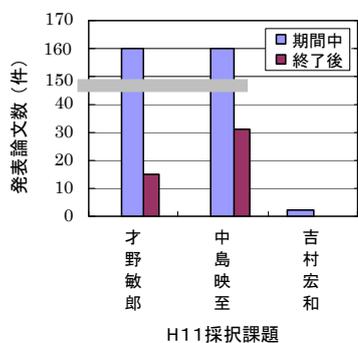


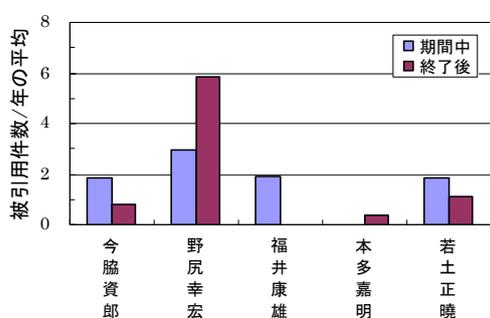
図 8 発表論文数 (H11 採択課題)

研究課題ごとに比較すると、平成 9 年度採択課題では、本研究期間中は今脇 (31 報)、福井 (27 報)、若土 (23 報) の論文数が多かった。本研究終了後では若土の 42 報が最も多く、野尻の 23 報がそれに次いでいた。野尻、本多、若土の 3 課題は、本研究期間中よりも終了後の発表論文数が多く、終了後も活発な研究活動を行っていると思われる。平成 10 年度採択課題について見ると、本研究期間中は植松 (134 報)、浅野(中静) (104 報) の 2 課題が 100 報を超える論文を発表していた。本研究終了後は各研究者とも 10～20 報程度の論文発表数であった。平成 11 年度採択課題では、本研究期間中は才野、中島が 160 報で並んでおり、領域全体でもトップの発表論文数を示していた。本研究終了後は中島の発表論文数 (31

報)が多かった。

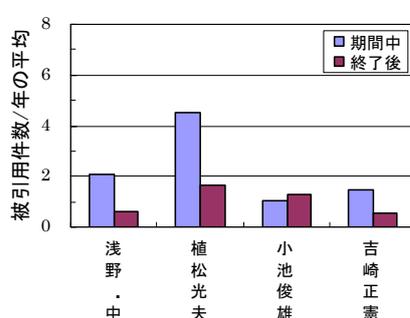
(2) 平均被引用件数

被引用件数は、発表論文のインパクトを計る判断基準として考えられるが、研究の質に対する指標とも見ることが出来る。従って平均被引用件数は、本研究に関連して発表された全論文のインパクトあるいは研究の質を平均したものの意味合いを持つが、一般に論文発表後の経過年数が長くなるほど被引用件数が大きくなると考えられるために、単純平均では経過年数による誤差を排除できない。ここでは1年間当りの被引用件数〔被引用件数/年〕の平均値を採用して比較した。各研究課題の〔被引用件数/年〕の平均を、採択年度別に図9～図11に示す。



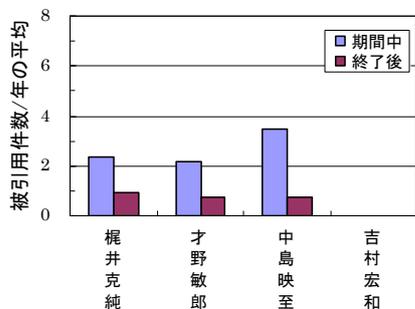
H9採択課題

図9〔被引用件数/年〕の平均(H9採択課題)



H10採択課題

図10〔被引用件数/年〕の平均(H10採択課題)



H11採択課題

図11〔被引用件数/年〕の平均(H11採択課題)

全般的に本研究期間中の〔被引用件数/年〕の平均が、終了後のそれを上回っていた。被引用件数は、論文発表後徐々に増加し、数年後に極大を示した後減少するのが一般的な傾向である。本研究終了後の〔被引用件数/年〕の平均が低いのは、論文発表後の経過年数が少なく極大を示す前の状態にある論文が多い可能性もあるが、平成9年度採択課題では、本研究終了後既に6年以上経過しており、経過年数が少ないことによる影響は限定的なものと考えられる。本研究期間中は、終了後と比較して、注目度の高い論文がより多く生産されたと考えられる。このことは表7の「被引用件数 ≥ 100 の論文数」、「 $50 \leq$ 被引用件数 < 100 の論文数」にも現れている。本研究期間中の「被引用件数 ≥ 100 の論文数」は領域全体で13報、「 $50 \leq$ 被引用件数 < 100 の論文数」は25報であるのに対して、終了後は、各々

3報、0報であった。

研究課題別に見ると、本研究期間中では平成10年度採択の植松が4.51件/年と最も多く、平成11年度採択の中島（3.46件/年）、平成9年度採択の野尻（2.96件/年）がそれに次いでいた。本研究終了後は野尻の5.85件/年が際立っていた。なお領域全体の平均値は1.12件/年であった。本研究期間中の中島および植松、本研究終了後の野尻は発表論文数の面でも顕著な値を示しており、研究活動の状況および研究の質の両面で、優れた成果を挙げていると言えよう。

(3) Top1%論文

Top1%論文は、同一の学術分野、同一の年に発表された論文の中で、被引用件数が上位1%に入る論文であり、非常に注目度の高い重要な論文ということが出来る。また学術分野の異なる論文間の注目度を相対的に比較するには便利な指標である。本研究のように複数の学術分野にまたがる課題群を含むケースでは、特に有用な指標と考えられる。本調査では、トムソン・ロイター社のESI (Essential Science Indicator) で公表された2009年9月18日時点でのデータを用いた。ただしこの指標には、対象論文がWeb of Scienceに収録されている雑誌に限定されていること、対象期間が直近の11年間（今回の調査に於いては1999年から2009年）に限られていること等の制限がある。従って平成10年（1998年）以前に発表された論文や、Web of Scienceに収録されていない和文誌は、例え被引用件数が多くてもこの指標では捉えられない。

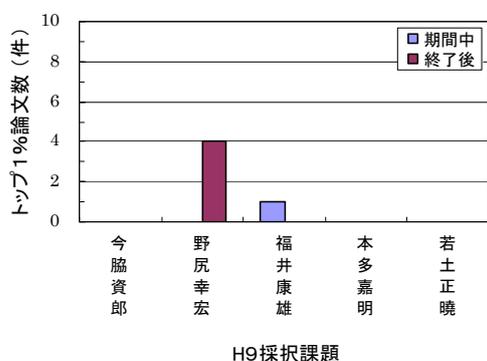


図 12 Top1%に入る論文数(H9 採択課題)

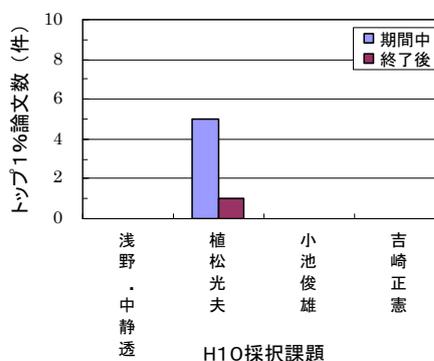


図 13 Top1%に入る論文数(H10 採択課題)

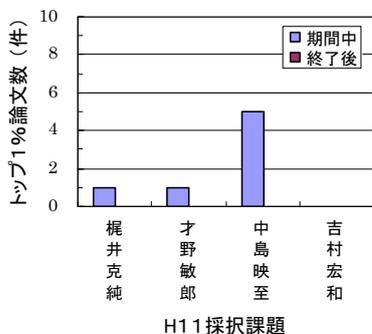


図 14 Top1%に入る論文数(H11 採択課題)

図 12～図 14 に、各研究課題（研究代表者）から発表された論文のうち、被引用件数が上位 1%に入る論文の数を、採択年度別に示した。

本研究期間中で Top1%論文の数が最も多かったのは、平成 10 年度採択の植松、平成 11 年度採択の中島で、5 報で並んでいた。本研究における Top1%論文の多寡を論じる場合、本研究から発表された論文のうち何%の論文が Top1%以上の被引用件数を示しているかが一つの指標になると考えられる。植松、中島研究代表者が本研究期間中に発表した検索対象論文数（表 7 の第 2 列目）は各々 89 報、106 報であり、発表論文数に対する Top1%論文数の比率は 5.6%、4.7%と 1%に対して非常に高い割合を示していた。また領域全体の Top1%論文数は 13 報であった。領域全体の検索対象論文数 393 報に対する比率は 3.3%に相当しており、本領域では水準以上の Top1%論文が発表されていた。注目度の高い論文の発表数の面では、本領域は優れた成果を挙げたと言えよう。

本研究終了後では、平成 9 年度採択の野尻の 4 報が最高で、そのほかでは平成 10 年度採択の植松が 1 報の Top1%論文を生み出していた。領域全体で見ると、本研究終了後の全発表論文 224 報のうち 5 報（2.2%）の論文が Top1%に入っていた。2.2%>1.0%であり、終了後も水準以上の Top1%論文が発表されていたと言えるが、期間中ほどではない。

1-2-4 特許

本研究期間中および終了後の出願特許に関する各種指標を表 8 に示す。パテントファミリーとは、優先権主張関係で関連付けられる国内、海外出願特許の群のことであり、総出願数とはパテントファミリーを構成する各出願特許を夫々 1 件と数えた数値である。

表 8 出願特許に関する研究課題別の各種指標

No.	採択年度	研究代表者	特許出願					
			研究期間の出願特許			期間終了後の研究代表者の出願特許		
			パテントファミリー数	総出願数	成立特許数	パテントファミリー数	総出願数	成立特許数
1	H9	今脇 資郎	0	0	0	0	0	0
2		野尻 幸宏	0	0	0	1	1	1
3		福井 康雄	1	6	5	1	2	1
4		本多 嘉明	0	0	0	0	0	0
5		若土 正暁	1	4	1	0	0	0
6	H10	浅野(中静) 透	0	0	0	0	0	0
7		植松 光夫	1	1	1	0	0	0
8		小池 俊雄	0	0	0	0	0	0
9		吉崎 正憲	0	0	0	0	0	0
10	H11	梶井 克純	3	11	4	2	2	0
11		才野 敏郎	3	3	1	3	3	0
12		中島 映至	1	3	0	0	0	0
13		吉村 宏和	7	18	7	0	0	0

(1) パテントファミリー数

パテントファミリー数は、優先権主張関係で関連付けられる出願特許群を 1 件と数えるものであるから、研究活動により生み出された独立の発明の数と考えることが出来る。研究課題毎のパテントファミリー数を、採択年度別に図 15～図 17 に示す。

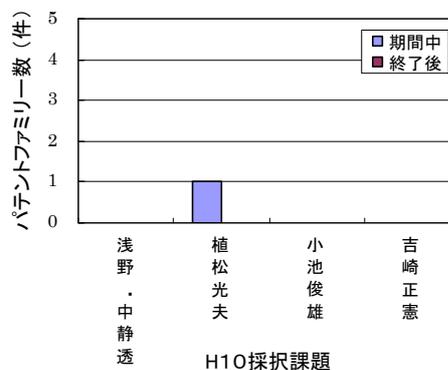
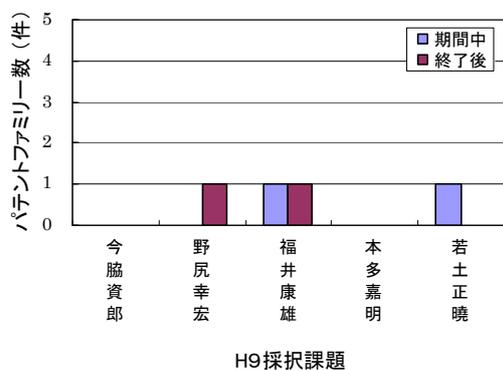


図 15 パテントファミリー数(H9 採択課題)

図 16 パテントファミリー数(H10 採択課題)

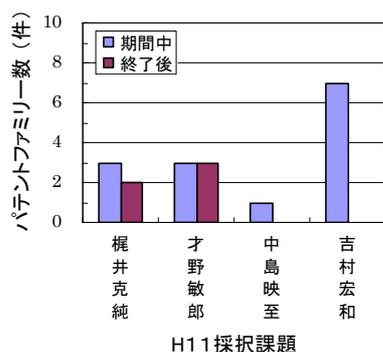


図 17 パテントファミリー数(H11 採択課題)

本研究期間中で出願特許のパテントファミリー数が多かったのは、平成 11 年度採択の吉村であり、7 件のパテントファミリーを出願していた。その他で複数のパテントファミリーを出願していたのは、同じく平成 11 年度採択の梶井および才野の 3 件のみであった。本研究終了後では、平成 11 年度採択の才野 (3 件) および梶井 (2 件)、平成 9 年度採択の野尻 (1 件) および福井 (1 件) からの出願があるのみであった。本領域はパテントファミリーの出願数が多いとは言えない。

(2) 総出願数

研究課題毎の総出願特許数を、採択年度別に図 18～図 20 に示す。

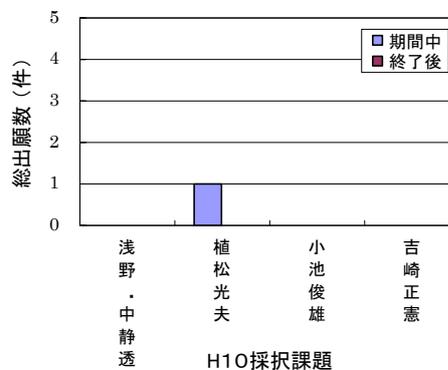
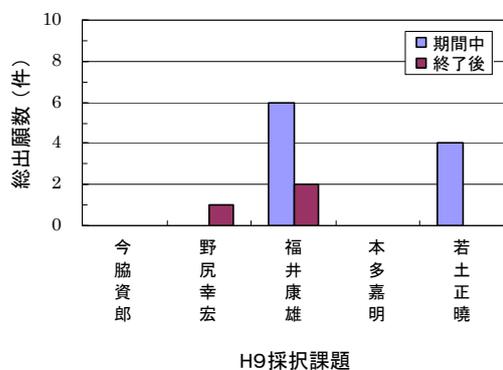


図 18 総出願特許数 (H9 採択課題)

図 19 総出願特許数 (H10 採択課題)

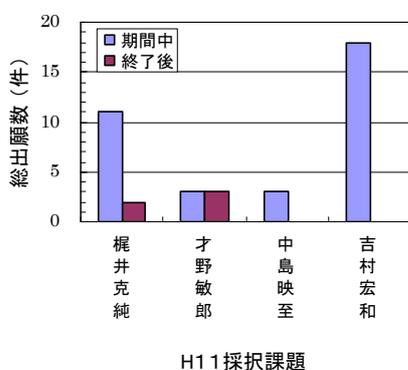


図 20 総出願特許数 (H11 採択課題)

領域全体の総出願数は、本研究期間中が 46 件、終了後が 8 件であり、終了後は期間中の約 6 分の 1 の総出願数であった。1 研究課題あたりでは、各々 3.5 件、0.6 件の出願となっていた。

総出願数とパテントファミリー数の差は、特に同一発明に関する海外展開の度合を表わしていると考えられる。図 15～図 17 と、図 18～図 20 とを比較すると、本研究領域では本研究期間中は比較的活発な海外出願が行われたものの、終了後は海外出願が殆ど行われていなかったことがわかる。

研究課題別に見ると、本研究期間中では、平成 11 年度採択の吉村 (18 件) および梶井 (11 件)、平成 9 年度採択の福井 (6 件) の総出願数が多かった。本研究終了後は、(1)パテントファミリー数の場合とほぼ同様であった。

(3) 成立特許数

研究課題毎の成立特許数を、採択年度別に図 21～図 23 に示す。

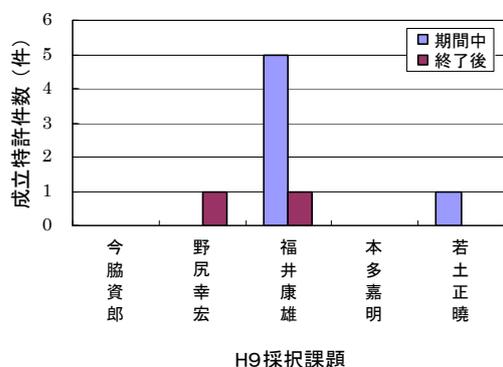


図 21 成立特許数 (H9 採択課題)

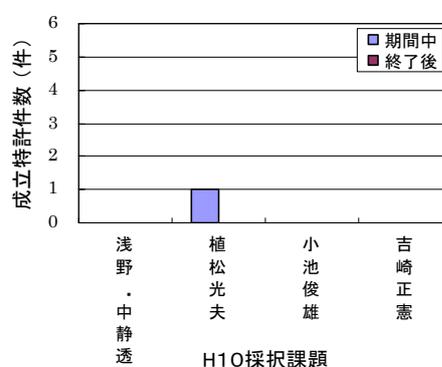


図 22 成立特許数 (H10 採択課題)

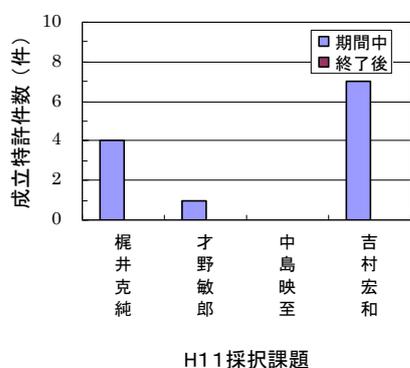


図 23 成立特許数 (H11 採択課題)

領域全体での成立特許数は、本研究期間中は 19 件と比較的多数であったのに対して、終了後は 2 件のみとなっていた。1 研究課題当たりでは、本研究期間中が 1.5 件、終了後で 0.2 件の特許が成立したことになる。パテントファミリー数、総出願数と同様、本研究終了後の数値が大きく減少している。特許成立までにはある程度の経過時間が必要であり、出願後の経過時間の差が影響している可能性もある。

研究課題別に見ると、本研究期間中では、平成 11 年度採択の吉村が 7 件、平成 9 年度採択の福井が 5 件、平成 11 年度採択の梶井が 4 件の特許を成立させていた。本研究終了後は、平成 9 年度採択の野尻および福井が各々 1 件の特許を成立させていただけであった。

1-2-5 受賞

本研究期間中については終了報告書の記載を中心に調査し、研究代表者の HP 等で補足調査した。本研究終了後は研究代表者の HP が主体の調査である。本研究終了後については、情報量が十分とは言えない点は否めない。研究課題毎の受賞数を表 9 に示す。

表 9 研究課題ごとの受賞数

No.	採択年度	研究代表者	受賞者	賞名 (授賞機関)	受賞年
1	H 9	今脇 資郎	市川 香	2001 年度日本海洋学会岡田賞	2001 年
2			今脇 資郎	宇田賞 (日本海洋学会)	2009 年*
3		福井 康雄	福井 康雄	第 6 回日本天文学会欧文研究報告論文賞	2002 年
4			福井 康雄	第 7 回林忠四郎賞 (日本天文学会)	2003 年*
5			福井 康雄	紫綬褒章	2007 年*
6		若土 正暁	若土 正暁	宇田賞 (日本海洋学会)	2008 年*
7	H10	浅野(中静)透	野村 昌弘 市岡 孝朗 市野 隆雄	Ecological Research 論文賞 (日本生態学会)	2001 年
8			酒井 章子	第 5 回 (2001 年) 日本生態学会 宮地賞	2001 年
9			市栄 智明	第 6 回日本熱帯生態学会吉良賞	2002 年
10			山下 恵	日本写真測量学会平成 14 年度年次学 術講演会論文賞	2002 年
11			浅野(中静)透	日本林学会賞	2003 年
12			東マレーシアにおける熱帯雨林生態研究 チーム	第 12 回松下幸之助花の万博記念賞 (松下幸之助花の万博記念財団)	2004 年*
13			浅野(中静)透	みどりの学術賞 (内閣府)	2007 年*
14			植松 光夫	北大・河村教授	日本気象学会 2002 年度堀内賞
15		CREST・松本潔研究 員		奨励賞 (日本地球化学会)	2003 年
16		九大・鶴野教授		第 13 回地球環境技術賞 (日本経済新聞)	2003 年
17		植松 光夫		学会賞 (日本地球化学会)	2004 年*
18		植松 光夫		学会賞 (日本海洋学会)	2009 年*
19	小池 俊雄	小池 俊雄	堀内賞 (気象学会)	2001 年	
20		小池 俊雄	水工学論文賞 (土木学会)	2002 年	
21		小池 俊雄	Group Achievement Award (NASA アメリカ航空宇宙局)	2003 年	
22		陽 坤	Young Scientist Award (International Symposium on Climate Change)	2003 年	

23		吉崎 正憲	予報研究部メソ数値 モデル高度化研究 グループ	所長表彰 (気象研究所)	2002 年
24			気象研究所メソ数値 モデルの高度化研究 グループ	長官表彰 (気象庁)	2002 年
25	H11	中島 映至	日暮 明子	山本・正野論文賞 (日本気象学会)	2000 年
26			竹村 俊彦	山本・正野論文賞 (日本気象学会)	2002 年
27			鵜野 伊津志	第 13 回日本経済新聞地球環境技術賞 (日本経済新聞社)	2003 年
28			遠藤 辰雄	平成 14 年度地球環境論文賞 (土木学会地球環境委員会)	2003 年
29			竹村 俊彦	Young Scientist Award (International Radiation Commission)	2004 年

* : 本研究終了後の受賞

1-3 代表事例について

前節に示した調査結果および研究総括ヒアリング結果を基にして、詳細調査の対象となる 5 課題を抽出した。それら 5 課題を研究代表者名で示すと、若土、浅野(中静)、小池、才野、中島である。

第2章 研究領域における研究の継続・発展状況

2-1 研究領域としてのねらいと達成状況

本領域では、地球全体を、大気、海洋、陸域、生態の4領域に分け、さらに太陽に関する研究を加えた13のテーマが、偏りなくそれぞれの領域に配分されている(図1)。熱帯雨林とCO₂の関係、太陽とそのエネルギー輻射など、地球のグローバルな変動(長期的な変動)に関する研究が行われた。その結果、広域にわたって、自動化による長期間継続した精度の高いデータを得ている。人工衛星とリモートセンサーの活用によって、温度・組成などの基準観測とリモートデータにより、全体的なデータの収集もおこなわれた。

個別の研究成果としては、まず若土はロシアの協力を取り付け長く閉ざされていたオホーツク海で世界初の本格的な海洋観測を行った。海氷の消長、東樺太海流、オホーツク海と太平洋とのブッソル海峡を通しての交流、オホーツク海底コア資料による古環境など新しい知見が得られた。浅野は、ボルネオ島の熱帯雨林に高さ80mの林冠クレーンシステムを構築し、それを観測拠点として、熱帯樹林の一斉開花の気象トリガーとして乾燥が有力であること、一斉開花の規模には樹木体内の栄養塩貯蔵が重要な因子となることを明らかにし、一斉開花の進化的要因として新たに遺伝子流動促進仮説を提案した。また、同時に炭素収支・水収支観測を実施し、林冠での炭素・水のフラックスを計測した。小池は、チベット高原とタイにおいて衛星と地上観測により地表面水文状態、地空間フラックス、大気状態等を計測する手法を開発し、それらの実態を把握した。また大気-陸面相互作用を記述するモデルを開発し、地表面の不均一性が領域平均フラックスに与える影響を明らかにした。広域観測データおよびモデルを用いて、チベット高原とタイにおける水・エネルギー収支の季節変化特性を明らかにした。さらに上記強化観測にとどまらず、世界気候研究計画(WCRP)における統合地球水循環強化観測期間(CEOP)プロジェクトの立案・実施をリードして、全球規模の観測データを国際協力で取得する体制を確立することに貢献した。才野は、海洋設置自動昇降式ブイとそれに搭載して海洋の基礎生産を自動的に計測し実時間的にデータを転送する測定システムを開発した。この運用は、本研究期間中には相模湾海域で始まったところであり、現場海域における衛星データの検証法の開発を含め、海洋基礎生産の広域・長期的観測システムの実用化は継続研究SORSTに引継がれた。中島は、アジア域の大気汚染が引き起こす直接・間接の気候影響を調べるため、大気中のエアロゾルから雲粒、霧粒までの雲のライフサイクルに関わる全粒径スペクトル分布、粒子系の光学的パラメータの大気力学・化学的パラメータへの依存性に関する観測とモデリングを行った。エアロゾルの日射散乱・吸収による直接効果及び雲核として働き雲の放射特性を変えることによる間接効果を評価し、現在地球温暖化予測における最大の不確定要因の一つとされているエアロゾルの大気熱収支に及ぼす影響の解明に貢献した。

2-2 研究課題ごとの研究のねらいと研究期間中の達成状況および研究終了後の継続・発展の状況

2-2-1 黒潮変動予測実験（研究代表者：今脇 資郎）

気象予測に関する研究が種々行われているが、黒潮は、世界海洋循環の主要な構成要素の一つであり、流路や流量などの変動のメカニズムの解明や予測の実用化への道筋をつけることは、気候変動のメカニズムやその予測の研究を推進する上で重要であった。

黒潮の変動は、日本の気候や水産・運輸等諸産業に大きな影響をもたらす。その変動の予測実験を行うことによって、気候変動のメカニズムを解明することを目的とした。

今脇は、研究チームを7つのサブチームに分けた。そして衛星海面高度計データと漂流ブイデータを組み合わせて海面の絶対的な地衡流を推定する方法、黒潮の流路変動を、現場観測データと衛星海面高度計から推測する方法など、独創性のある実験を取り入れた。

黒潮流路の変動に関しては、各種実験の結果、黒潮の実態の把握、黒潮流路の一ヶ月予測の可能性、黒潮流路の1~2年予測に関する知見などが得られた。これらは海洋科学のみならず、我国の気象業務に採用される可能性のある黒潮変動予測に関する各種データと位置づけられるものであった。

黒潮流量の変動に関しては、日本南岸での黒潮の流量の時間変化を明らかにする研究を行い、四国沖の黒潮の流量変動を、現場観測データと衛星海面高度計データを基にして推定する作業を継続して行った。そして実測された季節変動が、平坦な海底を仮定した線型の風成循環理論による推定値に比べてかなり小さいことを発見した。

また黒潮の上流域である東シナ海、トカラ海峡、および琉球列島南東海域における流速分布とその変動を明らかにする研究を行い、これまでの資料解析や数値モデルで存在が示唆されていた琉球列島の東側の北上流が実際に存在することを発見した。

さらに西部北太平洋を定期運行している鉱石運搬船の船底に装着した音響ドプラー流速分布計(ADCP)によって、長期間にわたって広域の表層250m以浅の海流データを蓄積し、黒潮、黒潮反流、亜熱帯反流、北赤道海流、赤道反流などの基本的な表層海流系の流速の断面構造を明らかにした。

本研究終了後の発表論文数は8報で、期間中は31報であった。最高引用件数はそれぞれ13件、47件であった。特許の申請はない。研究助成金は、科研費基盤研究(B)「日本南岸の黒潮の流量と流路の経年変動特性に関する研究」(2006-2007年度)など3件であった。受賞は、本研究終了年に市川香が、「衛星海面高度計資料を用いた海面変動の研究」に対して「岡田賞」(日本海洋学会、2001年)を、本研究終了後は今脇が、「黒潮研究の推進と国内外の海洋学界への多大な貢献」に対して日本海洋学会「宇田賞」(2009年)をそれぞれ受賞した。

2-2-2 北西太平洋の海洋生物化学過程の時系列観測（研究代表者：野尻 幸宏）

地球温暖化・気候変動問題に対しては、その現象の的確な予測とそれに基づく対策の推進が必要とされる。本研究では、二酸化炭素の吸収源とされる、北西（西部亜寒帯）太平洋における物質循環過程、特に海洋生物化学過程を調査することに主眼をおいて研究を推進した。

既に海洋時系列観測定点として継続的にデータを蓄積していたアラスカ湾（東部亜寒帯太平洋）、ハワイ沖（亜熱帯太平洋）の2定点に加えて、本研究においては、西部亜寒帯太平洋にもう一点、定点 KNOT を加え、炭酸系、栄養塩、溶存酸素、一次生産速度などについて、精度管理された時系列データを取ることを主な目的とした。

本研究は、海洋生物化学過程を最新の手法で観察した点に新規性があった。そして、現場の海洋で化学成分の分布が物理・化学・生物過程によって時系列的に変化するさまを所属機関の異なる4隻の観測船で詳細に観測した点に独創性があった。

観測空白期間や黒潮流入によるデータの乱れ等があったが、化石燃料起源の二酸化炭素の吸収源とされている海洋の調査で、東部亜寒帯太平洋地点、亜熱帯太平洋地点と共に、太平洋全域の炭素循環過程解明の鍵となる観測資料の一部を提供した。定点保持を行い、その間に表層から深層までの採水、漂流系での沈降粒子捕集実験、培養による植物プランクトン生産量の測定、長期係留系の設置回収、プランクトン試料採取、海水の光学特性測定など、多くの項目の観測を行った。また本研究終了後の定点の利用についても関係機関の研究者の間で検討された。

本研究における3年間の観測で、西部亜寒帯太平洋の定点KNOTにおける炭素循環とその支配要因である生物現象に関するかなり膨大な観測データを得た。また観測データの解析から、他の2定点と比較して、西部亜寒帯太平洋は生物生産速度の季節変化が際立って異なることを明らかにした。これらは、全地球の物質循環モデルのパラメータ化に貢献できるデータであり、国際的な研究計画会議でも、この定点観測は高く評価された。3年間にわたるデータ蓄積で、基本的周年サイクルが明らかになったことは、本研究終了後のプロセス研究にとって有利な研究の場を提供した。このことは、やや低頻度の定点観測であっても、炭素循環研究にとって有益なプロセス研究ができることを意味する上で貢献したともいえる。

本研究終了後の論文数は23報で、期間中は13報であった。最高被引用件数はそれぞれ403件、58件であった。Top1%に入る論文数は、本研究終了後に4報あった。本研究終了後の最高被引用件数、Top1%論文数とも、全課題中で最も多かった。特許の出願は、本研究終了後の1件で、この特許は既に成立している。研究助成金は、科学技術振興調整費「海洋二酸化炭素観測データ国際標準化」（2003年度）、環境省地球環境研究総合推進費「海洋酸性化が石灰化生物に与える影響の実験的研究」（2008-2010年度）など4件であった。受賞はない。

2-2-3 超伝導受信器を用いたオゾン等の大気微量分子の高度分布測定装置の開発（研究代表者：福井 康雄）

1980年代以降オゾン層のオゾン濃度は減少傾向を示し、90年代には深刻さを増した。1995年にオゾン層破壊の主要原因としての特定フロンの使用が禁止されたことにより、成層圏オゾン層破壊問題に関する社会的重要性は減少したが、オゾン濃度とその変動の原因物質を監視するモニタリングは必要と考えられていた。

本研究では、ミリ波の超伝導受信器を搭載した大気微量分子測定システムを開発し、南米チリ共和国（ラス・カンパナス天文台）で南半球中緯度帯におけるオゾンおよびその破壊物質とされる ClO 分子の高度分布モニタリングをおこない、オゾン破壊の状況とその要因を把握するための基礎データを取得することを目的とした。

本研究は、ミリ波（200GHz 帯）の超伝導受信器の高感度化と安定化を追求し、太陽光を背景とする分光測定法やライダー法等とは異なる利点を有する地球大気微量成分の測定システムを開発しようとした点に特徴があった。

本研究期間中に大気微量分子の高度分布の測定装置を開発し、ラス・カンパナス天文台での観測により、2000年10月に中緯度帯の観測データとしては世界初の成層圏高度 40km 付近の ClO スペクトルを検出した。本装置では、それまで 24 時間以上の積分が必要とされていたスペクトルが、2 時間程度の積分で取得できるようになった。一日以内の ClO 量の時間変動を実測でき、長時間にわたる安定したデータ取得が可能となる成果であった。

本測定装置では、測定高度の下限を 14km まで下げることを実現した結果、低高度での測定も可能になった。春から初夏にかけての極渦の崩壊とともに、極渦の気塊（フィラメント）がラス・カンパナス天文台のある中緯度帯まで移動する。この気塊中において、極成層圏雲（PSC）起源の低高度の ClO スペクトルの観測を行うことにより、極から中緯度への移動に伴うフィラメント内での低高度 ClO 分子の拡散を定量することができた。また南極オゾンホール内の PSC に起因するオゾン破壊に関連する、高度 20km 前後の ClO 測定にも対応可能となった。

本研究では、ライダーや OPC (optical particle counter) による極域オゾン破壊で主要な役割を演じる PSC の観測、オゾン・ClO 変動の解析とモデル化も並行して行った。前者では多くの PSC 発現事象を観測し、液体状態の粒子が PSC のもっとも高濃度で主要な部分を形成していることを初めて確認した。後者では、それまで明確に認識されていなかった、高度 60km 付近のオゾンの半年周期変動を見出した。

本研究終了後の発表論文数は 3 報で、期間中は 27 報であった。最高被引用件数は、本研究期間中は 108 件であったが、終了後は引用された論文はなかった。特許の総出願数は本研究期間中は 6 件でその内 5 件が成立している。本研究終了後は 2 件でその内 1 件が既に成立している。研究助成金は、SORST「搬型超伝導ミリ波大気分子測定装置の開発」、科研費「銀河系およびマゼラン銀河内の膨張ガスシエルの観測的研究」など 11 件におよぶ。受賞は、紫綬褒章、日本天文学会「林忠四郎賞」など 3 件であった。

2-2-4 衛星観測による植物生産量推定手法の開発（研究代表者：本多 嘉明）

全地球陸域における植物生産量を定量的に把握することは、地球環境保全にかかわる二酸化炭素、水などの物質循環解明や食料問題に対処するために必要と考えられていた。

本多らは、植物生産量の推定には、バイオマスが重要なパラメータになっていると考え、人工衛星による植物生産量推定モデルの開発とそのモデルの高精度化を主とした研究を行った。

研究グループは、現地観測・観測データ解析、衛星データ解析、現地観測機器開発、モデル開発の4つのサブグループで構成された。本研究は、平坦で均質な植生が広がるモンゴル草原に衛星観測の検証サイトを設け、草本植生のバイオマスを定量的に推定できる手法の開発を目的とした点に特徴があった。

本研究では、①モンゴル草原における大面積検証サイトの運用および検証データ収集手法の確立、②モンゴル草原における高精度なバイオマス推定モデルの開発、③二方向性反射データの観測機材の開発、④二方向反射データを利用した新たな二方向反射構造指数(BSI: Bi-directional Structure Index)の開発、⑤広域バイオマスマップへの応用研究を行った。その結果、現地観測を可能とする観測機器の開発および観測手法の確立を実現し、草本植物のバイオマスを人工衛星データから推定するアルゴリズムを確立した。また、草丈をパラメータとして用いると推定精度が向上することを実証し、それまで一般的に用いられてきた植生被覆状態を示す正規化植生指標(NDVI)に対して、さらに草丈の情報を含む3次元的な植生表面の形状を表すBSIを考案するとともに、衛星データから草丈を推定するアルゴリズムを構築した。これらを利用して草本植生のバイオマス推定に成功した。この手法の開発により、砂漠・半砂漠・草原等が占める全陸地の約60%を把握できるようになった。この手法を基にして森林植生にも適用可能なバイオマス推定法が開発されれば、陸域植生の大部分を対象とした衛星による植物生産量の監視が可能になると期待された。

また、モンゴル高原に設置した本実験サイトは、NASAにより模範的なテストサイトの一つとして指定され、国際的にも高い評価を得た。さらに本実験サイトの研究成果がモンゴル国内での環境保全・自然災害対策上の要望に応えるものとなったことは、想定外の国際貢献であった。

本研究終了後の発表論文数は11報で、期間中の8報より増加しているが、期間中、終了後を通じて論文の発表は多いとはいえない。最高被引用件数は、本研究終了後が7件であったが、期間中の論文は全て邦文であり、引用を受けたものはなかった。特許の出願はない。研究助成金は、発展研究SORST「全球高精度植生バイオマス推定の実用化・衛星による地方方向観測を利用した高精度バイオマス推定の実用化」(2002-2008年度)など2件であった。

2-2-5 オホーツク海氷の実態と気候システムにおける役割の解明（研究代表者：若土 正暁）

オホーツク海は地球上で最も低緯度に位置する海氷域であり、地球温暖化の影響が現れる場所である。北太平洋中層水の起源域であり、二酸化炭素の吸収域、高生物生産などの物質循環の見地からも重要な海域である。ロシアと共同で各種の観測を行い、その実態と気候システムにおける役割の解明を行うことが本研究のねらいであった。そのために、オホーツク海の北西部大陸棚を含むほぼ全域における海洋観測を実施し、海氷の実態とその消長の機構、北太平洋中層水の起源水の生成機構、物質循環システム、古気候などを明らかにすることを目的とした。

本研究は、ロシアの協力を得ることに成功し、国際的に未踏のオホーツク海での本格調査を実施した点、即ちロシアの観測船クロモフを用いた海洋観測を実施し、海氷拡大期にロシア航空機を用いた大気・海氷観測を実施した点で、独創性があった。

海氷の形成・移動・消滅、厚さを含む海氷分布、それまでは「まぼろしの海流」と言われていた東樺太海流の発見およびその構造と季節変化の把握、海氷域における海洋から大気への乱流熱フラックス（流速）の評価とその機能の解明、オホーツク海の冷水塊が太平洋中層水となるプロセスの発見、オホーツク海北西陸棚域の低温・高密度水の存在の確認、海氷域上の気団変質過程、12万年間に相当する海底コアの取得による氷期・間氷期の変動、1000年スケールでの海氷域の拡大・縮小等古気候の復元など多くの新しい知見が得られた。本研究により北海道大学グループは、オホーツク海周辺陸域を含めた環オホーツク環境科学の世界センターに発展する可能性が期待された。また若土は、平成12年12月に北海道大学において国際シンポジウム「オホーツク海と周辺陸域における大気－海洋－雪氷圏相互作用」を主催し、欧米から多数の研究者を招聘した。

平成13年には、それまでと同様ロシア海洋観測船「クロモフ号」を用いた第四回目の航海（平成13年8月17日－9月22日）を実施した。この航海では、特にブツソル海峡での海水交換量を評価するための観測に重点をおいた。それ以前に実施した流速計係留観測では必ずしも十分なデータが取得できなかったこともあり、この観測では、時期は限定されているものの、海峡を通しての正確な海水交換量を評価することに集中した。その結果、潮流の影響も考慮した空間的に高分解能なデータを取得することが出来た。これらのデータについての解析は本研究終了後も精力的に進められたが、北太平洋中層水形成におけるオホーツク海の役割、すなわちオホーツク海北西部で生成された冷水塊が南下した後ブツソル海峡を経て北太平洋中層水となるという一連のプロセスを理解する上でも貴重な情報が得られた。

本研究終了後の発表論文数は42報で、期間中の23報より増加していた。最高被引用件数は、それぞれ39件、59件であった。特許の出願は、本研究期間中の4件で、その内1件が成立した。研究助成金は、科研費「南極海インド洋セクターにおける海洋循環と南北熱塩輸送の量的把握」（2005-2007年度）など3件であった。受賞は、日本海洋学会「宇田賞」の1件であった。

2-2-6 熱帯林の林冠における生態圏－気圏相互作用のメカニズムの解明（研究代表者：浅野(中静) 透)

熱帯林は大気との間で活発に相互作用をしている。生態圏と気圏の相互作用の多くは、両者の境界層である林冠における生態プロセスに支配されている。それまで有効な林冠アクセスシステムや広域の生態プロセスを把握する手法が開発されていなかったため、その因果関係やメカニズムの解明が進まず、地球科学と生態学間のギャップとして残されていた。

本研究では、ボルネオ島の熱帯雨林に高さ 80m の林冠クレーン観測システムを構築し、環境変動が東南アジア熱帯雨林に特有の一斉開花および生態系に及ぼす影響の調査、地球規模の環境変動と熱帯雨林の炭素・水収支の時間的・空間的変動の解明、ならびに林冠状態の広域把握を目指した。

本研究は、アクセスの困難さの故に、その全貌を把握することの出来なかった熱帯雨林（ボルネオ島）に、世界最高水準の森林研究観測施設の一つであり、東南アジアで唯一の林冠クレーンを設置し、森林の三次元構造を非接触で測定したことに特徴があった。そして、二方向性反射特性などの衛星データの補正・検証を森林で行った点、また、樹木の一斉開花の進化要因に着目した点に独創性があった。

それまでは、東南アジア熱帯雨林における炭素収支と水収支についての資料は皆無であったが、本研究によって初めて測定データが提示された。林冠クレーン観測システムを用いて得られた林冠動態のみでなく、森林内部における動態を含めた三次元的なプロセス解明と、メソスケールでの気象と生物現象の解析が結合され、二酸化炭素、顕熱・潜熱フラックス、土壌水分、樹冠遮断量、樹液流速速度等のデータセットの構築・解析が進められた。

一斉開花に関しては、従来考えられていた低温仮説よりも乾燥仮説が有力であることが明確になった。また一斉開花の進化的要因に関しては、捕食者飽食仮説、送粉促進仮説に分けて検討し、一斉開花によって送粉が促進され、近交弱性を緩和するという、遺伝子流動促進を新たな仮説として提出した。

浅野は、2001年3月に林冠クレーンサイトで国際シンポジウム“Canopy Processes and Ecological Roles of Tropical Rain Forest”を開催し、本施設を国際林冠クレーンネットワークにおける中核的な施設として認知させることに貢献した。

また温室効果ガス排出量の規制の観点からも、本施設でのモニタリングにより、種々のデータが提供されるものと期待された。

本研究終了後の発表論文数は19報であり、期間中の104報（全課題中の第4位）と比較して五分の一程度に減少していた。最高被引用件数は各々17件、84件であった。特許は申請されなかった。研究助成金は科研費基盤研究(A)「短期乾燥が熱帯雨林生態系に与える影響に関する野外操作実験」（2007-2009年度）を含め5件であった。みどりの学術賞、日本林学会賞、日本生態学会宮地賞、日本熱帯生態学会吉良賞など7件の賞を受賞した。また本研究活動については、新聞・テレビ等でもしばしば紹介された。

2-2-7 海洋大気エアロゾル組成の変動と影響予測（研究者代表：植松 光夫）

大気中における温室効果ガスの増加による地球温暖化問題が重大化しつつあるなかで、冷却効果をもつ大気エアロゾルはその化学組成、濃度、形状などの時空間変動が大きく、地球規模での気候に及ぼす影響評価が不確定であった。

自然起源と人為起源エアロゾルが混在し、その変質過程が顕著に現れる特徴を有する重要な海域としての北太平洋において、地球表層における陸、大気、海洋間を生成、循環、消滅するエアロゾルの物理、化学的特性と生物地球化学的物質循環の変化を把握することを目的とし、外洋域において低濃度の大气化学成分やエアロゾルを測定する自動採取・自動分析システムの開発、船舶や島での観測手段・体制の確立、国際的な共同観測への参加、得られる結果をもとに現象を把握し、モデルによる再現、予測へと結びつけることを研究の目標とした。

本研究は、大気エアロゾルや気体成分を、無人で自動航走・定点保持して連続測定が可能な無人海洋大気観測艇の開発を目指した点に独自性があった。

本研究では、無人海洋大気観測艇「かんちゃん」を開発し、その後、2年余りの間に13回、2500海里の観測航海を通して改良を重ね、実用化の目途をつけた。その間、三宅島の火山噴煙の影響を受けた高濃度の二酸化硫黄のみならず、従来ほとんど測定されていなかったアンモニアを検出するという予想外の知見も得られた。また島嶼での連続観測、研究船による移動観測により大陸起源の自然的・人為的エアロゾルの諸特性を把握し、増加しつつある窒素酸化物の海洋への降下は海洋生物生産に影響を及ぼす重要因子となり得ることを示唆した。

新しい観測手段を開発し、船舶観測とともに島嶼観測によって西部北太平洋洋上のエアロゾル化学成分の時空間的分布を捉え、異なる発生源からのエアロゾル生成、輸送、除去過程を明らかにした。また広域で時間分解能の高い観測結果を用いてモデル化を行い、再現性を著しく向上させることが出来た。その結果、72時間後の化学予報天気図を描き、人為起源物質発存量の変化に対応した予測の精度を高めた。長期間、広域に亘り観測を持続することの困難な海上において、開発された大気エアロゾルや大気微量成分の自動精密分析装置は本研究以降も広く利用されるものと期待された。

本研究終了後の発表論文数は21報で、期間中は全課題中第3位の134報であった。最高被引用件数はそれぞれ30件、1144件であった。本研究期間中の1144件は、全課題中の最高であり群を抜いていた。Top1%に入る論文数もそれぞれ1報、5報（中島とともに全課題中第1位）であった。特許は本研究期間中に1件出願し既に成立している。研究助成金は、科研費基盤研究(A)「海水中の硫化ジメチル生成、大気への放出、洋上硫酸エアロゾル形成に至る過程の解明」（2004-2007年度）、科研費特定領域研究「海洋表層・大気下層間の物質循環リンケージ」（2006-2009年度）など7件であった。受賞は、日本地球化学会「奨励賞」、日本海洋学会「学会賞」など5件であった。

2-2-8 大気-陸域相互作用のモデル化と衛星観測手法の開発（研究代表者：小池 俊雄）

地球規模、地域規模等の水循環変動には、それぞれのスケール内での地表面、特に陸面の多様性が影響している。大気-陸面相互作用を観測し、定量的に調査することにより、多様性を踏まえた物理モデルの開発が必要とされていた。

チベット高原とタイのチャオプラヤ川を中心とする領域において大気-陸面相互作用に関する強化観測体制を確立し、それぞれの観測領域において、衛星と陸上集中観測により地表面水文状態、フラックス、大気状態を計測する手法を開発し、その実態を把握することを目的として研究を行った。

世界気候研究計画(WCRP)における総合地球水循環強化観測期間(CEOP)国際プロジェクトの立案・実施を国際的にリードして、地球規模の観測データを国際協力により取得する体制の確立を目指した点、また大気-陸面相互作用に介在する水循環に焦点をあて、観測研究、モデル研究、プロセス研究を推進した点に独創性があった。

チベット高原観測研究、タイ（熱帯モンスーン地域）観測研究、衛星観測研究、陸面スキーム・陸面-大気結合モデル研究などにより、本研究当時の気候研究に関する課題に対応することができた。すなわち、本研究においては、大気-陸域相互作用における科学的な不確実性の部分に焦点を当て、包括的な衛星観測システムの観測結果を、国際的な共同研究体制を基盤としたグローバルな検証実験と比較研究することによって、①大気-陸面相互作用の中で鍵となるプロセスの解明、②新しい地球観測衛星を用いたグローバルモニタリングシステムの確立、③モデルのグローバルな適用の可能性の検証、を達成した。本研究では、①をチベット高原内の三つの観測地点に適用し、水平流出の影響のない地点において良好な結果を得ることが確認された。次に、②と③がそれぞれ代表的斜面と小流域に適用され、その妥当性が示されるとともに、それぞれの領域でシミュレーションを行うことにより、水平流出が土壌水分や鉛直フラックスの空間分布に与える影響を定量的に示すことに成功した。

本研究成果は、2002年のヨハネスブルクでの「持続可能な開発のための世界サミット」、2003年京都での「第3回世界水フォーラム」、2003年ワシントンでの「地球観測サミット」などにおける地球規模水循環の観測および予測精度の向上、データおよび情報の共有に関する国際的な議論を展開することに多大な貢献をした。

本研究終了後の発表論文数は20報で、期間中は88報であった。最高被引用件数は、それぞれ22件、13件であった。特許の出願はない。小池は、2003年度からCREST「水の循環系モデリングと利用システム」領域の第3期として研究課題「水循環系の物理的ダウンスケーリング手法の開発」（2003-2007年度）が切れ目なく採択され、継続して大型研究を実施した。その他、科研費特定領域研究「チベット高原陸面エネルギー・水循環過程」（1999-2002年度）など6件の研究助成金を獲得した。受賞は、気象学会「堀内賞」、土木学会「水工学論文賞」など4件であった。

2-2-9 メソ対流系の構造と発生・発達メカニズムの解明（研究者代表：吉崎 正憲）

大気中の水やエネルギーの循環過程の中で、メソ対流系（MCS）は水平スケール 100km のオーダーで対流性領域と層状性領域をもつ降水システムである。本研究開始当時、MCS を観測するのに境界層レーダーや CPS が利用されており、積乱雲も表現できる非静力学数値モデル（NHM）が開発されていた。

このような状況の中で、我国の気象災害の主要原因の一つとなっている集中豪雨・豪雪をもたらすメソ対流系に対する理解を向上させ、気象庁が推進しようとしていた短時間予報・短期間予報業務の改善を目指して本研究を実施した。

新しいリモートセンシング観測技術、数値モデル等の開発に携わってきた全国の気象研究者を組織し、ドップラーレーダー、境界層レーダー、高層ゾンデ等を使用して、地上からの観測と航空機による観測を組み合わせた組織的な観測を行った点に独創性があった。

本研究では、メソ対流系およびその階層構造を解明するために、九州地方の梅雨、日本海の冬期の帯状雲・小低気圧や関東地方の雷雨について、野外観測・解析・モデル化検討を有機的に結合した総合的研究を行った。そのためにメソ対流系を観測するのに有効な観測器を充実し、①地上からのメソ観測システムの構築、②ドップラーレーダー、高層ゾンデ、航空機などによる野外観測の実施、③野外観測データのデータベース化、④野外観測で観測される事例の解析、⑤数値モデルによる再現実験、⑥他の地域のメソ対流系との比較および全体の取りまとめ、を行った。観測機器としては、境界層レーダー、気温分布測定マイクロ波放射計、地上観測装置を購入してメソ観測体制の充実を図った。また、②では機動的な航空機とドップラーレーダー、高層ゾンデ、気象観測船などの観測網を組み合わせ、それまでになかった規模の総合的な観測を行った。こうした観測や解析から、日本域のメソ対流系の構造や発生・発達の仕方、およびメソ対流系の形態とその周りの環境場（中間規模擾乱などの場）との関係を明らかにした。

気象庁モデルなどの粗い分解能の数値モデルでは再現できていなかった、高層観測がない地域に発生・発達する攪乱に関しては、NHM でも再現できなかった。しかし主な原因が、不正確な下層水蒸気分布予測にあることを発見し、MCS について NHM による予測と実況を定量的に比較するという成果をあげた。本研究により、メソ対流系の研究が飛躍的に向上し、降水過程の取り扱いが困難とされている地球規模水循環モデルの開発にも貢献するものと期待された。

吉崎は、2002 年 10 月 29～31 日、東京品川コクヨホールで、“International Conference on Mesoscale Convective Systems and Heavy Rainfall/Snowfall in East Asia”を開催した。国内外から 100 余名の参加があり、本研究成果は広く関係研究者により議論され、世界的に共有された。

本研究終了後の発表論文数は 14 報で、期間中は 25 報であった。最高引用件数は各々 11 件、16 件であった。特許の申請はない。受賞は、気象研究所長賞、気象庁長官表彰の 2 件であった。

2-2-10 化学的摂動法による大気反応機構解明（研究代表者：梶井 克純）

人間活動に伴って反応性化学物質が大気中に放出され、光化学反応により酸性雨や光化学オキシダントが発生している。とりわけ対流圏オゾンの増加は着実に進行しており、生態系への毒性や地球の温暖化などの問題を生じている。これら有害物質の大気中での反応機構を把握することは、大気質の将来予測を行う上で重要な課題となっていた。

本研究では、対流圏大気、とりわけ都市大気中のオゾン濃度変動のメカニズムに焦点をあて、大気化学反応の中心的役割を担っている反応性微量ガスの総合的な観測および OH ラジカルの大気寿命測定を通して大気反応機構を解明することを研究の目的とした。またこの点に本研究の独創性があった。

本研究では、主として(1)オゾン前駆体物質の測定と濃度変動特性の解析、(2)窒素酸化物の化学的変質メカニズムの解明、そして当初の目的であった(3)化学摂動法による大気酸化メカニズムの解明、を行い、以下のような研究成果を得た。

①オゾン前駆体物質として重要な揮発性有機化合物(VOCs)および一酸化炭素を系統的に定量するために、約 60 種類の化学種を高速に測定できるシステムを構築した。離島の観測では、汚染地域（陸域）からの VOCs の輸送時間と濃度との相関関係を初めて見出した。

②大気中 NO_x の濃度変換過程を精密に調べるために、レーザー誘起蛍光(LIF)法による NO₂ 濃度測定装置の開発を行い、世界最高水準の装置を開発した。また NO を酸化する総過酸化ラジカル濃度の超高精度測定装置も開発した。更に夜間の NO₃ ラジカルおよび N₂O₅ が測定できる LIF 法を用いた装置を開発し、東アジアで初めての N₂O₅ 測定が行われた。

③大気中の OH ラジカルの大気寿命を測定することで、OH ラジカルの消失過程を独立に議論できる化学摂動法を提案した。レーザーフラッシュ・ポンプ・プローブ法による OH ラジカル寿命測定装置を開発し、OH ラジカル寿命測定を世界で初めて行った。

④大気中で OH ラジカルがその寿命中に作り得るオキシダント量を「オキシダント・ポテンシャル」として定義し、その測定法を示した。実際の測定により、本ポテンシャルが大気の性質を示す尺度として重要な意味を持つことを示した。

⑤上記のオキシダント関与物質の精密分析装置の開発によって、NO_x の都市大気の昼夜における光化学反応に果たす役割など、それまで知られなかった光化学反応の複雑なメカニズムを明らかにした。

本研究終了後の発表論文数は 17 報で、期間中は 33 報であった。最高被引用件数はそれぞれ 16 件、67 件であった。Top1%に入る論文数は本研究期間中の 1 報であった。特許は、本研究期間中に 11 件出願し（全課題中第 2 位）、そのうち光化学オゾン発生濃度推定装置、大気中二酸化窒素濃度測定装置など 4 件が成立した。また本研究終了後に 2 件出願したが、調査時点で成立したものはない。

研究助成金は、科研費基盤研究(A)「ドイツ最先端模擬大気チャンバーを用いたラジカル計測による大気反応機構解明」（2006-2008 年度）など 3 件であった。受賞はない。

2-2-11 衛星利用のための実時間海洋基礎生産計測システム（研究代表者：才野 敏郎）

地球規模の環境変化において、海洋における熱・エネルギー循環と物質循環の変化が大きな役割を果たすと考えられており、それまで見過ごされていたイベント的現象の長期変動を、全地球的・長時間スケールで観測することが必要となっていた。特に、大気中の二酸化炭素濃度に大きな影響を及ぼす海洋の物質循環に関しては、人工衛星を利用した、物質の鉛直輸送を担う生物ポンプの活動の地理的分布・変動を明らかにすることが求められていた。

本研究では、海洋に設置した自動昇降式ブイに搭載したセンサー類によって、海洋の基礎生産を自動的に計測し、また、人工衛星水色データから推定した基礎生産を実時間で検証する計測システムを開発することを目的とした。

本研究以前の海洋観測・研究においては船舶による観測が主体であったが、本研究は、自動昇降ブイによる観測と人工衛星観測とを組合せ、定点観測を時系列的に行った点に独創性があった。

本研究では、①水中設置自動昇降ブイシステムの開発、②高速フラッシュ励起蛍光光度計（FRRF）の開発、③光学測定による基礎生産の推定、④人工衛星による基礎生産推定アルゴリズムの検討をおこない、以上の各要素の開発・研究を総合化することにより、自動昇降式ブイシステムを用いた実時間海洋基礎生産計測システムのハードウェアとソフトウェアおよび計測システムの運用に必要なデータシステムの基本型を確立した。またブイ設置点の単位面積当りの総基礎生産を、 $(\text{FRRFによる単位生産}) \times (\text{FRRFによるクロロフィルの鉛直分布}) \times (\text{人工衛星による海面日射量})$ として積算するアルゴリズムを作成した。その結果をブイ設置点における酸素法、 ^{13}C 法による培養法、 ^{17}O 異常法等によって検証し、ほぼ満足すべき結果を得た。

計測機器の開発、FRRF法を検証するための現場培養法、自然蛍光法、光吸収法などの測定を実施するため、国内民間企業と大学が相補的な協力体制を構築・発展させた。チーム型研究の特徴を活かした研究体制は有効に機能したと評価された。

開発したシステムの運用は、本研究期間中は相模湾海域に限られたが、観測の蓄積により自動昇降ブイと搭載センサーFRRFの信頼性が高まれば、より多くの海域での基礎生産のデータが蓄積され、衛星データを利用した基礎生産のグローバル分析と変動の監視に貢献すると期待された。

本研究終了後の発表論文数は15報で、期間中は160報であった。160報は、中島とともに全課題中の第1位であった。最高被引用件数は、それぞれ19件、167件（全課題中第3位）であった。Top1%に入る論文数は、上記167件の引用を受けた論文1報であった。特許は、本研究期間中3件出願され、うち1件が成立している。本研究終了後は3件出願されたが、調査時点で成立した特許はない。研究助成金は、継続研究SORST「人工衛星による海洋基礎生産モニタリング」（2004-2009年度）など2件であった。受賞はない。

2-2-12 アジア域の広域大気汚染による大気粒子環境の変調（研究代表者：中島 映至）

エアロゾルの直接効果（日射の散乱・吸収）、間接効果（雲核として働き雲の放射特性を変える）とも地球温暖化予測における不確定要素とされていた。またアジア域でのエアロゾルの環境の変調についての調査が必要となっていた。

エアロゾルは人間活動起源のものが増加することによって、温室効果気体と同程度に地球のエネルギー収支や大気中の雲形成過程に影響を与える。東アジア域を対象とした人為起源の大気汚染エアロゾルの実態とその機能を総合的に明らかにすることを本研究の目的とした。

エアロゾルと雲との関係について、地上、航空機、人工衛星、新たに開発された雲レーダーとライダーを組み合わせたアクティブセンシングシステムから観測事実を積みあげる手法を取った点に独創性があった。

本研究では(1)エアロゾル、雲粒、霧粒までの雲のライフサイクルに関わる全粒径スペクトル分布の観測とモデリング、(2)粒子系の光学特性パラメータと大気力学的、化学的パラメータとの依存性に関する観測とモデリングを中心に研究を行い、以下の成果が得られた。

①東アジア域のエアロゾルは硫酸塩、有機炭素性粒子、土壌性粒子、海塩等、光学的特性が著しく異なる4種の粒子の複雑な総合系であることを明らかにし、地上で観測される放射強制力が、求められたエアロゾルの光学的特性によって整合的に説明できるものであることを見出した。すなわち済州島と奄美大島域で集中観測を行い、自然起源を含む全エアロゾルの直接効果の大きさは大気上端で $-1\sim-3\text{W/m}^2$ 程度であること、大気下端では数十 W/m^2 にも及ぶことを定量的に示し、大気下端でのエアロゾルの直接効果の寄与が極めて重要であることなどを明らかにした。

②観測結果を広域に拡張するために人工衛星による放射輝度データの解析を行い、エアロゾル種やエアロゾルの光学的厚さの広域分布を世界で初めて導出した。さらに雲の光学的厚さや有効粒子半径の広域分布も導出した。

③上記②で得られたエアロゾルの間接効果による放射強制力は全球平均で -1.4 であることを明らかにした。この値は世界的に引用されている。

多岐にわたる個別研究課題に適切な役割分担で対応し、チーム型研究の特徴を活かして多くの研究成果を挙げたと評価された。

本研究終了後の発表論文数は31報、期間中は160報であった。160報は、才野とともに全課題中の第1位であった。最高被引用件数はそれぞれ、13件、274件（全課題中第2位）であった。Top1%に入る論文は、本研究期間中に5報（植松とともに全課題中第1位）であった。特許は、CREST期間中に3件出願されたが成立しなかった。研究助成金は、科研費基盤研究(A)「インドネシア域における生物マスが及ぼす気候学的影響に関する調査的研究」（1999-2000年度）など3件であった。受賞は、日本気象学会「山本・正野論文賞」、日本経済新聞社「日本経済新聞地球環境技術賞」など5件であった。

2-2-13 太陽輻射と磁気変動の地球変動への影響（研究代表者：吉村 宏和）

太陽活動が地球の気候変動に及ぼす影響を明確にするには、太陽輻射の変動を長期間にわたり調査する必要がある。太陽輻射を高精度で測定できる大気圏外からの人工衛星による連続観測は1970年代後半からやっと開始されたばかりであり、また異なった宇宙探査機による測定結果のつなぎ合わせによるものであった。

本研究は、100年間にわたる太陽写真像として蓄積されている資料を、新しく開発したデジタル化装置で数値化し、その数値データをコンピュータで処理することによって太陽半径を測定し、太陽輻射の長期変動との関連を明確にすることで、太陽輻射変動が気候変動に及ぼす影響を明らかにしようとしたものであった。

太陽輻射変動は太陽内部で磁場が熱を貯留したり、開放したりすることによって起こるものであり、熱の貯留・開放が太陽半径の変動に反映されるとの仮説の下に、デジタル化されたデータから、太陽半径のみならず、黒点および黒点群の位置ならびに運動も測定しようとした点に本研究の特徴があった。

研究の結果、以下のような成果が得られた。

- ①太陽写真像の高速・高精度デジタル化装置を開発し、実用化した。本装置は関連研究分野に活用されることが期待された。また本装置については、その手法とともに複数の特許が出願され、その多くがすでに成立した。
- ②最近100年間にわたる太陽写真像として蓄積されているインド・ゴダイカナル天文台の資料、本研究開始時には公開されていなかった英国・グリーンニッチ天文台の資料を、それぞれの研究所の協力を得てデジタル化することに成功した。
- ③デジタル化された太陽写真像の半径の自動測定法を考案し、全ての測定を完了した。測定された太陽写真像の半径はさまざまな時間スケールで変動していることが明らかとなった。
- ④望遠鏡で撮影された太陽写真像に存在する外的擾乱を除くために、地球軌道に基づく太陽-地球間距離の補正、地球大気に起因する補正、望遠鏡の変化に起因する補正、データの一部欠損期間の補正など多種多様な補正を行い、有意義な情報を抽出した。

太陽半径の長期変動の大きさに初めて実証的根拠を与えた本研究は、太陽物理学分野のみならず、地球変動のメカニズムの研究領域でも太陽輻射変動の影響を明確にしたと評価された。また太陽半径と「太陽定数」の変動に関する定量的関係が把握できれば、太陽定数の変動と地球気候の変動との関係が明確になると期待された。

本研究終了後に発表された論文はなかった。本研究期間中には2報の論文が発表された。特許は、本研究期間中に18件出願され、うち7件が成立した。また成立した7件のうち2件は海外（米国）での出願であった。特許出願数、特許成立数とも全課題中で最も多かった。研究助成金は、本研究以外にはなく、受賞もなかった。

第3章 研究成果から生み出された科学技術的、社会的および経済的な波及効果

3-1 オホーツク海氷の実態と気候システムにおける役割の解明（研究代表者：若土 正暁）

3-1-1 研究期間中における状況

(1) 本研究開始の頃の状況

高緯度海域に広く分布する海氷が、世界の気候変動に重要な役割を果たしていることは良く知られていた。なかでもオホーツク海は地球上で最も低緯度に位置する季節海氷域であり、地球温暖化の影響が顕著に現れる場所として、注目される海域であった。同時に、オホーツク海は北太平洋中層水の起源地域であり、二酸化炭素の吸収域、高生物生産域など物質循環の意味からも重要な海域と言われていた。しかしながら、社会主義圏に位置するという大きな壁から、西側諸国が単独で観測することは不可能で、海洋循環や海氷の形成・成長など、オホーツク海における基本的な問題でさえ未解明という状況にあった。若土らは、ソ連からロシアに政治体制が変わったのを契機に、ロシア・アメリカの研究機関の協力を得て、ロシア観測船を用いたオホーツク海ほぼ全域における本格的な海洋観測を初めて実現させた。ロシア船による海洋観測の他にも、ロシア航空機を用いた海氷上の大気・海氷観測や海上保安庁パトロール船「そうや」を用いた日本領海内海氷現場観測などを実施し、さらにリモートセンシング、モデリングなど様々な研究手法を駆使して、オホーツク海を取り巻く諸課題、海氷の消長過程、東樺太海流の実態、北太平洋中層水の起源地の生成機構、物質循環過程、大気-海洋相互作用、古海洋などの解明に取り組んだ。

(2) 特筆すべき事項

A.最大の成果は、それまで「まぼろしの海流」と呼ばれるだけで、その実像が全く不明であった東樺太海流について、実測データによってその存在を初めて確認し、詳細な構造や南下流量の季節変動などの実態を一気に明らかにしたことである⁵。東樺太海流は、深さ1000mにも及ぶ大海流であり、冬最大・夏最小となる季節変動の大きな海流であった。

B.オホーツク海に海氷を生む最大の要因は、北半球の「寒極」（最も寒い場所）が北東シベリアにあることで、冬季に発達する北西季節風がオホーツク海北西部沿岸域を強烈に冷やすことにあった。そこでは、冷たい強風が常時吹き続けるため、「海氷生産工場」と呼ばれるほどに効率よく大量の海氷生産が行われていた⁶。オホーツク海の海氷のほとんどはそこで作られ、風と東樺太海流によって東部と南部に運ばれていることも分かった。また、本研究では、海氷形成の際に生成する高密度水の動向にも特に注目した。オホーツク海北西陸棚域を起点にして遠く北太平洋中層水域にまで運ばれる高密度水には、栄養分が多量に

⁵ Mizuta G, et al., J. Phys. Oceanogr., 33(11), 2430-2445, 2003

⁶ Ohshima KI, et al., J. Meteorol. Soc. Jpn., 81, 653-677, 2003

存在していただけでなく、同時に極めて高濁度の海水であることも計測した⁷。その高濁度は、植物プランクトンの増殖に欠かせない「鉄分」が大量に存在していることを示唆したものであり、この発見がその後の「オホーツク海や親潮域を世界でも稀に見る豊富な水産資源域にしている最大要因としての、中層水循環による鉄輸送仮説」を実証するための新たなプロジェクトへの展開に大きく貢献することになった。

C. 千島列島間ブッソル海峡での3週間にわたる流速計係留観測の実施により、低温・低塩・富酸素のオホーツク海水がその海峡を通して北太平洋に流出し、それと同量の高塩・高温・貧酸素の太平洋水が北の海峡からオホーツク海に流入するという二つの海を挟んでの海水交換の実態が明らかになった⁸。上記のように、貧酸素の太平洋水をオホーツク海北西陸棚域で冷却し、大気から酸素を多量に吸収し新鮮な海水にして北太平洋に戻すという観測結果は、オホーツク海が北太平洋に対して「心臓」の役割を果たしていることを示唆するものであった。

D. ロシア以外の研究者にとって空白域であったオホーツク海について、多くの貴重なデータを取得した点で画期的なプロジェクトであった。日・米・露の国際協同で行われた事、それによってその後の協力の基礎が出来たこともかけがえのない成果である。さらに、見落とされがちだが人身事故は勿論、観測上の事故も全くなく観測が終了した事も特筆される。観測計画が良く練られていた事、参加した研究者の観測研究能力が高かったことの証左であるといえる。オホーツク海における観測の航路は、図 24のとおりである。

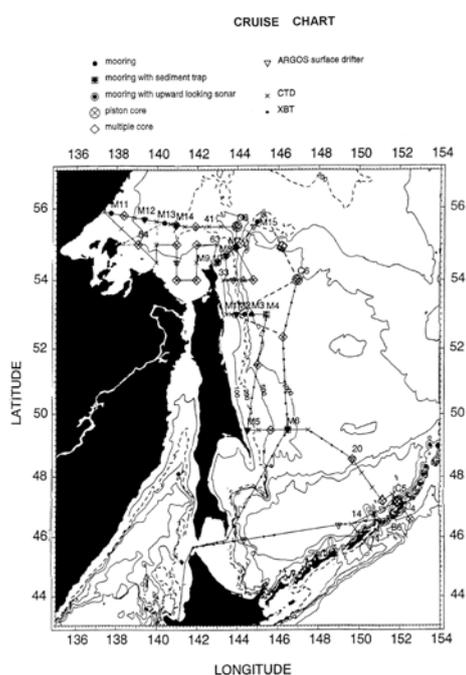


図 24 観測航路図

⁷ Nakatsuka T, et al., Geophys. Res. Lett., 29, 1757, doi:10.1029/2001GL014029, 2002

⁸ Katsumata K, et al., J. Geophys. Res., 109, doi:10.1029/2003JC001864, 2004

3-1-2 研究終了後の基礎研究としての継続・発展状況

研究資金	研究テーマ	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
CREST	オホーツク海氷の実態と気候システムにおける役割の解明	1期													
科学研究費補助金基盤研究(B)	南極海インド洋セクターにおける深層循環の実態把握・特に南極底層水の低緯度への輸送量の直接評価														
科学研究費補助金基盤研究(B)	南極海インド洋セクターにおける海洋循環と南北熱塩輸送の量的把握														
科学研究費補助金基盤研究(S)	オホーツク海と北太平洋亜寒帯域をつなぐ熱塩/物質循環システムの実態解明														2014 まで

図 25 本研究以降に獲得した主な研究助成金(若土)

本研究以降に若土が獲得した主な研究助成金は、図 25 のとおりであった。

A. 環オホーツク観測研究センターのプロジェクト

北海道大学低温科学研究所は、2004年4月に同研究所内に寒冷圏環境科学研究分野の国際研究拠点としての役割を果たすべく「環オホーツク観測研究センター」を設立した。同センターでは、環オホーツク地域の環境を形成する諸条件（大気、海洋、雪氷、植生等）を長期的にモニターするとともに、詳細な現場観測を行うことにより、環オホーツク地域の地球環境システムにおける役割を正しく評価することを目標にしており、これは本研究成果を発展させたものであり、本研究でのねらいが具体的な形で継承されている。

オホーツク海北西部陸棚域で海氷生成時にできる高密度陸棚水と呼ばれる重い海水が、オホーツク海中層に沈み込んでいる事実は本研究で解明されたが、そのオホーツク海中層水が過去50年間で大きく昇温し、同時に溶存酸素量も顕著に減少していることが分かった。しかも、その中層水の昇温化・貧酸素化傾向は、オホーツク海から親潮域、さらには遠く北太平洋東部にまで広がっていることも明らかになった⁹。広範囲にわたる水温上昇と酸素量減少は、本来、オホーツク海北西部の海氷生産工場を起点に“冷たさや鉄分・酸素”などを、中層水とともに遠く北太平洋東部にまで送り出すポンプとしての機能が著しく低下してきていることを示すものである。これは、結果として、この海域全体の中層水循環システムを弱体化させることになる。その主な原因としては、オホーツク海の海氷生産量が温暖化によって明らかに減少傾向にあることが考えられる。これまで当然のこととして享受してきた親潮域を中心とするこの海域の豊かな水産資源への影響が懸念される。新たに設立された環オホーツク観測研究センターの果たすべき役割は、正に、それら環オホーツク地域が抱える諸問題に正面から取り組み、解決していくことであろう。

尚、本研究での成果は、40篇以上の論文として世界に公表され、その一部は *Journal of Geophysical Research* の Special Section¹⁰（2004年発刊）に纏められている。

⁹ Nakanowatari T, et al., *Geophys. Res. Lett.* 34, doi:10.1029/2006GL028243, 2007

¹⁰ *J. Geophys. Res.*, 109, C9, 2004

B. 科研費基盤研究(B)「南極海インド洋セクターにおける深層循環の実態把握-特に南極底層水の低緯度への輸送量の直接評価-」(2002-2004 年度)

本プロジェクトでは、本研究期間中に購入・展開した、音響式ドップラー流速計 (ADCP) や水温・塩分計からなる係留系観測システムと豪州 CSIRO (科学産業研究機構) が所有する同観測システムを総動員して、インド洋セクターにおける南極底層水の北上流量を計測するための大掛かりな観測を実施した。南極底層水の主要な生成域であるロス海とアデリーランド沖から深層西岸境界流の強い流れとして低緯度の赤道方向に向け必ず通過すると考えられていたケルゲレン海台東岸沖 8 箇所に、合計約 70 台の観測機器からなる大規模な係留系観測システムを展開し、南極底層水の北上流量を 2 年間にわたって連続して捉えることに初めて成功した。

C. 科研費基盤研究(B)「南極海インド洋セクターにおける海洋循環と南北熱塩輸送の量的把握」(2005-2007 年度)

本プロジェクトは上記 B. の日豪国際協力で得られた 2 年間の係留系観測データを解析することを目的としたものであった。全世界の海洋に熱や物質を運ぶ海洋大循環は、現在の穏やかな地球環境を支えている最大の功労者といえる。そして、その海洋循環を駆動する「エンジン」の役割を果たしているのが南北両極域海洋で生成する北大西洋深層水と南極底層水である。2 年間に取得されたデータを解析した結果、南極から世界中の海へ向かう経路にあたるインド洋セクターのケルゲレン海台沖の海底近くを、冷たい水 (南極底層水) が非常に大量に運ばれていることが明らかになり、この流れが海洋大循環のなかで非常に重要な役割を果たしていることをつきとめた。この成果は *Nature Geoscience* 誌 (2010 年発行) に **Highlighted research paper** として掲載された¹¹。本研究におけるオホーツク海の海洋・海氷の解明から全世界の海洋・海氷の解明へと研究対象が拡張されていると言える。

D. 科研費基盤研究(S)「オホーツク海と北太平洋亜寒帯域をつなぐ熱塩/物質循環システムの実態解明」(2010-2014 年度)

本研究では、それまで未開拓であったオホーツク海の実態を解明しただけでなく、小さな海であるものの、周囲の環境、特に、隣接する北太平洋に対して次のような大きな具体的役割を果たしていることを主張した。現状ではまだ仮説に留まっている若土等の「主張」を、科学的に (定量的に) 実証するために新たに提案されたのが本プロジェクトである。

オホーツク海や親潮域を世界でも稀にみる豊富な水産資源域にしている最大の要因は、植物プランクトンの増殖に欠かせない「鉄分」が、アムール川河口のある北西部陸棚域から遠く親潮域まで輸送されることによる¹²。その鉄輸送を直接担っているのが、海氷形成時

¹¹ Fukamachi Y, et al., *Nature Geoscience*, 3, 327-331, 2010

¹² Nishioka J, et al., *J. Geophys. Res.*, 112, doi:10.1029/2006JC004055, 2007

に生成する高密度水を源とするオホーツク海の熱塩循環であり、高密度水の生成量や熱塩循環の強さは、主に秋季のアムール川からの淡水供給と北太平洋からの高塩水供給の「せめぎ合い」の結果で決まる¹³。本プロジェクトでは、鉄輸送を担う熱塩循環の強さを決める鍵となる高塩水供給について、その輸送経路である東カムチャツカ海流域からオホーツク海東方海域（本研究では、時間の制限から今後実施すべき課題として残された唯一の海域）における集中観測の実施により、データ空白域を一気に埋め、オホーツク海から北太平洋に跨る「奇跡ともいえる熱塩循環による鉄輸送システム」の実態を解明する。

3-1-3 研究成果から生み出された科学技術的・社会的・経済的な効果・効用および波及効果

(1) 科学・技術の進歩に貢献する成果

A.オホーツク海は海洋科学的に重要でありながら、本研究までは少なくとも公開された観測資料が皆無に近い空白域であった。それだけに本研究の成果は国際的にも注目され、いわば日本の海洋科学のレベルが問われることへの回答との意義を持つものであった。ロシアの政治体制変化がおきるまでは、観測はおろか、調査すらできなかったオホーツク海での初めての本格的観測であり、得られたデータに基づく個々の観測事実の意義は大きい。

本研究における海洋の観測では、海流など物理的な面だけでなく海水の同位体を含む化学的観測も行われた。その結果、物理的・化学的両面を合わせてオホーツク海の構造と循環に関する全体像をまとめることができた。また、物質循環、古気候などについての知見も得られた。オホーツク海とそれを取り囲む東シベリア大陸—北極圏—北太平洋—日本のいわゆる「環オホーツク海」は、その地理的配置や低緯度海氷などによる多様な相互作用の存在する特徴的環境にある。その中心に位置するオホーツク海の全体像把握は、今後の地球環境科学研究に重要な役割を果たすことになる。

B.本研究予算で購入し、オホーツク海で展開した数多くの観測機器すべてを無事に回収することができたことは非常に大きい。貴重な多くのデータが取得できただけでなく、その後も南極海や北極海で使用されており、世界の海洋学の発展に大きく貢献している。

C.ブツソル海峡におけるオホーツク海/北太平洋間海水交換の観測では、当初、米国ワシントン大学の観測機材を投入していた。海峡における3か所での2年間にわたる流速計係留観測データは無事取得できたが、全く初めての観測だったため、予想を遥かにこえる激しい潮流の影響を受けたデータのほとんどは解析不能であった。そこで、当初予定になかった、係留方式とは異なる降下型音響ドップラー流速計を用いた観測を計画し、海峡内部に約3週間留まって、徹底的に精密な観測を実施し、潮汐の影響も考慮した信頼性の高い交

¹³ Matsuda J, et al., Deep-Sea Res., I, 56(9), 1401-1418, 2009

換量の導出に成功した。

D.多量の懸濁粒子含有の高濁度水が大陸棚底層からサハリン東岸沖の中層にかけて広がっていることを観測した。潮汐混合が盛んなことにより、海底に堆積した粒子の再懸濁効果が働いていると考察し、高密度ブライン水とともにオホーツク海南部へ輸送されるメカニズムを発見した。このことによりオホーツク海が栄養分などを効率的に外洋に運び出す機能を果たしていることを明らかにした。

(2) 応用に向けた発展

A.降下型音響ドップラー流速計の開発により、今後の中層水の定量見積もりが容易となった。水産庁が懸念しているクロロフィルの減少の原因究明も可能となり、海洋生態系を把握することにより例えば襟裳岬沖の漁獲高減少との関連も解明できる可能性が指摘されている。

B.古環境復元については、約12万年に相当する海底堆積物コアが得られた。氷期・間氷期に相当する変動の他、今から6000年前の気候最適期におけるオホーツク海の海氷の広がりなども明らかにすることができた。今後の地球温暖化との関連も考えられ、気候変動予測に役立つ古気候復元として重要なものも明らかになった。

(3) 人材育成状況

学位取得、昇進は多数に上る。若土の下で本研究に参加した研究者については、大島慶一郎が北海道大学低温科学研究所の准教授から教授に、中塚武が同研究所准教授から名古屋大学環境学研究科教授に、立花義裕が東海大学准教授から三重大学教授に、関 幸ポスドクが低温科学研究所准教授に、木村詞明ポスドクが東京大学助教にそれぞれ昇進した。学位取得者のほとんどは国の内外の研究機関で研究員やポスドクとして研究を続けている。

3-2 熱帯林の林冠における生態圏－気圏相互作用のメカニズムの解明（研究代表者：浅野（中静）透）

3-2-1 研究期間中における状況

(1) 本研究開始の頃の状況

熱帯林は、高い生物多様性と生物生産性に支えられ、大気と活発に相互作用をしている。生態圏と気圏の相互作用の多くは、両者の境界層としての林冠における生態プロセスに支配されている。本研究の提案当時、熱帯雨林が地球全体の気候、生物多様性の面で重要な役割を果たしていることがわかりつつあったが、林冠アクセスシステムなどの有効な手法が開発されていなかったため、因果関係やメカニズムの解明が進まず、地球科学と生態学のギャップとして残されていた。熱帯雨林における観測としてはアマゾンの熱帯雨林で炭素のフラックス(流束)を測定していた程度であり、林冠クレーンは用いていなかった。林冠は、太陽光を利用して植物が光合成をするポイントであり、炭素循環のスタート地点として重要である。本研究では、熱帯雨林に林冠クレーンを設置して各種の測定を行うことを目指した。林冠クレーンは、当時世界全体ではパナマ、アメリカ、北海道、スイス（or ドイツ）で作られていたが、熱帯雨林にはなかった。パナマは熱帯に属するが、熱帯雨林ではない。また、1992年に生物多様性条約が制定された背景もあった。

(2) 特筆すべき事項

A.本研究で構築した林冠クレーンは、高さ 80m、ジブ長 75m のものであり、面積 1.77ha の林冠に容易にアクセスできる、世界最高水準の森林研究観測施設の一つであり、東南アジアで唯一のものであった（図 26）。建設後の維持が適切に行われたことともに大きな成果であった。



図 26 建設最終段階の林冠クレーン（2001.3）

B.東南アジアの熱帯雨林における大気と森林の相互作用、具体的には炭素、水のフラックス（流束）を計測し、モデルにまで組み上げた。また、シミュレーションが出来るようになったことも大きな成果である。水のフラックスは、鈴木雅一（東京大学教授、当時）が担当し、モデル化は熊谷朝臣（九州大学助手、当時）が担当した。

C.一斉開花現象は、熱帯雨林において 5～10 年に 1 回程度、森の樹木が一斉に花を咲かせる現象であるが、従来は低温（1℃や 2℃程度の低温）が引き金になると考えられていた。浅野(中静)は 1992 年頃からこの現象に着目し、低温ではなく、弱い乾燥が引き金になると

の仮説をもっていた。本研究により 40mm/月程度の弱い乾燥が起こると、必ず開花することを観測事実として突き止めた。

3-2-2 研究終了後の基礎研究としての継続・発展状況

研究資金	研究テーマ	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
CREST	熱帯林の林冠における生態圏-気圏相互作用のメカニズムの解明		2期											
科学研究費補助金基盤研究(A)	林冠動態を基礎とした森林生態系機能の広域把握技術													
科学研究費補助金基盤研究(B)	温帯樹木群集における新規加入制限の定量的評価													
科学研究費補助金基盤研究(A)	短期乾燥が熱帯雨林生態系に与える影響に関する野外操作実験													
文部科学省グローバルCOEプログラム<学際、複合、新領域>	環境激変への生態系適応に向けた教育研究													

図 27 本研究以降に獲得した主な研究助成金(浅野(中静))

本研究以降に浅野(中静)が獲得した主な研究助成金は、図 27 のとおりである。

A. 生物多様性条約に関連した研究

2003 年～2007 年度（第一期）の総合地球環境学研究所（浅野(中静)の当時の所属機関）の生物多様性のプロジェクトで、浅野(中静)がプロジェクトリーダーを務めた。0.6～1.3 億円/年のレベルの金額で、本研究の発展として行なった。現在は第二期に入っており、酒井章子（筑波大学講師、当時）がサブリーダーを務めている。

このプロジェクトでは、本研究での成果を基にして、焼畑農業と生物多様性との関係を調べている。現地の人の森林の利用の仕方と生物多様性の保存との共存がどうしたら出来るかがテーマである。当初は現地の理解が得られなかったが、最近はこのテーマに関する意識が向上してきている。

B. 本研究に参加した鈴木、熊谷は、2003 年度から CREST 研究（「水の循環系モデリングと利用システム」領域、2001～2008 年度、研究課題「熱帯モンスーンアジアにおける降水変動が熱帯林の水循環・生態系に与える影響」、2003～2008 年度、研究代表者；鈴木雅一）に採択された。気候及び気象学的視点から降水の様々な時間スケールでの変動を明らかにし、さらに降水変動が熱帯林の土壌水分を媒介として陸域水循環や陸上生態系への物質循環に与える影響をタイ、マレーシアにおける熱帯林試験地での観測により把握すること、および陸域水循環や陸上生態系での物質循環を予測可能とする水循環、物質循環モデル構築を目指したプロジェクトであった。森林生態系における水循環と物質循環に関して、本研究で得られたデータが活用されるとともに、本林冠クレーンを使用して樹冠遮断量の計測がなされ、従来諸説が存在した樹冠遮断量に解答を与える観測成果が得られた。

C. 科研費基盤研究(A)「短期乾燥が熱帯雨林生態系に与える影響に関する野外操作実験」 (2007-2009年度)

本研究で観測事実として突き止めた、一斉開花現象が弱い乾燥によって起こるとの仮説を科学的に実証しようとしたプロジェクトである。林冠アクセス可能で同種の林冠木を4個体選定し、2個体を降水遮断実験、2個体をコントロールとして、①調査対象木の周辺における、降水遮断前後の林床に達する降水量のモニタリング、②栄養塩および炭水化物濃度の樹木の各部位でのモニタリング、③土壌水分、蒸散速度、水ポテンシャル、樹幹流速などのモニタリング、④展葉にともなう食葉性昆虫のモニタリング、⑤落葉量、土壌水分、分解速度のモニタリングを行った。40日間降水を遮断し、その間、林冠クレーンなどの林冠アクセス装置を用いて開花を観測した。遮断個体には開花が見られたが、実験期間中には弱い乾燥が入っており、対象個体以外にも開花がみられたため、プロジェクト期間中に明確な結論は得られなかった。本プロジェクトでは、DNAの研究者と遺伝レベルでどのようなことが起こっているのかも調べた。

3-2-3 研究成果から生み出された科学技術的・社会的・経済的な効果・効用および波及効果

(1) 科学・技術の進歩に貢献する成果

A. 林冠クレーンが設置されているランビルという地名は、熱帯雨林の水循環や生態系の観測の拠点として、広く世界に認知された。林冠クレーン周辺は、衛星データの重要な検証サイトとしても整備されており、植栽に直接触れることなく、広範囲の観測が可能で、今後も貴重なデータが得られる設備として期待が高まっている。

B. 国内的には、浅野(中静)の研究グループが日本の熱帯林研究をリードしていると言える。世界的に見れば、現在は英国のグループと世界ナンバー・ツーを争っているのが実情である。パナマのグループ(米国のスミソニアン傘下で、パナマにスミソニアン熱帯研究所がある)が資金やマンパワーの面で突出しており、世界各国とアライアンス関係を結び、世界に展開している。

C. 最近、欧米(英国)の大学から、林冠クレーンを用いた共同研究の申し入れがあった。世界的に認知度が高まっていることの証左と考えられる。

D. 本研究期間中に建設されたクレーンは、その後、CREST「水の循環系モデリングと利用システム」に引き継がれ環境関連の学術分野の発展に寄与している。

(2) 社会的、経済的な効果・効用および波及効果

A.3-2-2(2)A.にも示したが、本研究の意義が現地人の間にも徐々に浸透し、焼畑農業など

の現地の森林の利用の仕方と生物多様性の保存との共存の重要性に関する意識が向上してきた。地球環境保全の面からも大きなステップである。

(3) 人材育成状況

参加研究者に関する現在の状況、本研究による学位取得状況は、蓑口秀夫が新潟大学の助教授から教授に、神奈川弥智子が京都大学の大学院生から名古屋大学の准教授に、熊谷朝臣が九州大学の助手から同准教授に、市栄智明が高知大学の准教授に、村上正志が千葉大学の准教授に、また吉田俊也が北海道大学の准教授に各々昇進した。学位取得者は、12名であった。

3-3 大気-陸域相互作用のモデル化と衛星観測手法の開発（研究代表者：小池 俊雄）

3-3-1 研究期間中における状況

(1) 本研究開始の頃の状況

気候の季節進行や年々変動に大きな影響を与えている陸面-大気相互作用に関して、陸面での水・エネルギーの鉛直輸送を適切に算定するスキームを、大気大循環モデルに導入する種々の試みがなされていた。そこで問題となっていたのが、2つのスケールでの陸面の多様性であった。一つはグリッドスケール内での陸面の多様性であり、他方は大陸スケールでの多様性であった。それら2つのスケールの陸面での多様性が大気-陸面相互作用に与える影響を定量的に理解し、多様性を考慮した普遍的な鉛直輸送スキームを開発するには、多様な大陸上にグリッドスケールの強化観測領域を複数設定し、それぞれの観測領域において、その領域の特徴的な気候条件下で、地表面状態と水文状態、フラックス（流束）、大気状態の空間分布を様々な空間スケールで計測して、そのプロセスを把握することが必要であった。以上の要請を踏まえて、本研究では、①大気-陸面相互作用の鍵となるプロセスの解明、②地球観測衛星を用いたグローバルモニタリングシステムの確立、③モデルのグローバルな適用の可能性の検証、などを目指した。

(2) 特筆すべき事項

A.チベット高原とタイのチャオプラヤ川を中心とする領域において、多様な地表面で構成される集中観測領域を設定して、観測を行った¹⁴。これら領域内で、地表面の植生・土壌水分・積雪・地温・降水量など地上観測データを用いて、既存の衛星観測データによる土壌水分・積雪量・降水量などの算定アルゴリズムの開発・検証を行った¹⁵。

B.チベット高原における永久凍土帯での陸面の不均一性を考慮した水・エネルギーフラックス（流束）のモデルを開発した¹⁶。

C.地球観測衛星システムの中核となるべき地球観測プラットフォーム技術衛星「みどり」ADEOS-II(Advanced Earth Observing Satellite)が、H-IIA ロケット6号機の打ち上げ失敗により遅延したため、それに合わせた強化観測を2002～2003年の本研究最終年度に設定せざるを得なくなったが、その他は当初計画に沿って研究を進めた。

D.気象学・陸水学の各専門家の相補的協力体制が組織された。そして、小池の強力なリ-

¹⁴ Ma Y, Wang J, Koike T, et al., The second Tibetan Plateau experiment of atmospheric science, China Meteorological Press, 40-43, 2002

¹⁵ Fujii H, Koike T, The second Tibetan Plateau experiment of atmospheric science, China Meteorological Press, 113-117, 2002

¹⁶ Li X, Koike T, The second Tibetan Plateau experiment of atmospheric science, China Meteorological Press, 82-86, 2002

ダーシップの下に観測が実施された。

E.地球変動のメカニズム領域では、唯一 2 期連続で CREST の資金を得たプロジェクトである。第二の CREST では、「水循環系の物理的ダウンスケーリング手法の開発」という、基礎的科学技術研究を推進できたことも特筆される。

3-3-2 研究終了後の基礎研究としての継続・発展状況

研究資金	研究テーマ	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
CREST	大気-陸域相互作用のモデル化と衛星観測手法の開発		2期											
科学研究費補助金特定領域研究(B)	チベット高原陸面エネルギー・水循環過程													
科学研究費補助金基盤研究(B)	衛星搭載降水レーダとマイクロ波放射計を用いた陸域降水量算定手法の開発													
科学研究費補助金基盤研究(B)	衛星搭載マイクロ波放射計による全地球陸域降水観測アルゴリズム開発の基礎研究													
科学技術振興調整費「先導的研究等の推進」	地球水循環インフォマティクスの確立													
CREST	「水の循環系モデリングと利用システム」領域水循環系の物理的ダウンスケーリング手法の開発							3期						
科学研究費補助金基盤研究(A)	地球水循環変動の極端事象メカニズムの解明													

図 28 本研究以降に獲得した主な研究助成金(小池)

本研究以降に小池が獲得した主な研究助成金は、図 28 のとおりであった。

A.CREST 研究「水の循環系モデリングと利用システム」領域、課題名「水循環系の物理的ダウンスケーリング手法の開発」(2003-2008 年度)

本研究終了後、切れ目なく採択された二番目の CREST 研究であり、全地球の水循環系を記述する「統合地球水循環強化観測期間プロジェクト (CEOP)」の統合データセット、チベット集中観測データ、東京での一次元集中観測データを用いて、①大気-陸面結合データ同化スキームの開発、②大循環モデルから領域モデル及び領域モデルから局所モデルへの物理的ダウンスケーリング手法の開発、③分布型流出モデルを用いた流出予測システムの開発を行うことにより、地球規模から地域規模の変動を組み込んだ河川流域の流出予測精度の向上を目指したプロジェクトである。

本研究の成果である地球観測衛星を用いた陸面水文量のモニタリングシステム、チベット集中観測データ等を活かした研究が継続された。

B.科研費基盤研究(B)「衛星搭載降水レーダーとマイクロ波放射計を用いた陸域降水算定手法の開発」(2000-2001 年度)

本プロジェクトは、本研究採択後二年目にスタートしたものであり、本研究のテーマの

一つである衛星を利用した陸面-大気熱・水フラックス(流束)を推定するモデルの開発との関連で進められたものであった。

C. 科研費基盤研究(B)「衛星搭載マイクロ波放射計による全地球陸域降水観測アルゴリズム開発の基礎研究」(2002-2003年度)

本プロジェクトは、本研究の最終年度にスタートしたプロジェクトで、大気-陸面を一括して考える放射伝達モデルを用い、降水強度と雲水密度を同時に算出する手法の開発を目指したものであり、衛星による観測輝度温度から降水量と雲水量の算定が可能となり、地球規模での降水観測を実現するための貴重な成果が得られた。本研究における積雪・土壌水分・地温・植生水文量・降水量などの算定アルゴリズムの開発に関連した研究として引き継がれたものであった。

D. 科研費基盤研究(A)「地球水循環変動の極端事象メカニズムの解明」(2006-2008年度)

本プロジェクトは、本研究における水循環系の物理的ダウンスケーリングとの関連で実施された研究であった。地球規模の統合的で集中的な水循環データと統合情報融合システムを用い、近年頻発する気象分野における極端事象の発生、拡大、終息の物理的メカニズムと、極端事象の間に存在する共通性と特異性及び関連性に関する解析を行った。その結果、地球温暖化の進行が、日本における湿舌を伴う夏季前線性豪雨の頻度現象を引き起こす可能性があることが示唆された。

3-3-3 研究成果から生み出された科学技術的・社会的・経済的な効果・効用および波及効果

(1) 科学・技術の進歩に貢献する成果

A. 第二の CREST の実施期間中に、JICA 技術協力のプロジェクトが中国政府から提案された。国内の調整、中国国内および現地での事前評価を行い、東京大学を JICA コンサルタントとして登録することにも成功し、小池がプロジェクト統括の任に当たった。そして、2005年12月より JICA「日中気象災害協力研究センタープロジェクト」が立ち上がったことは、本研究、GAME(地球エネルギー・水循環観測研究アジアモンスーン観測実験)、CEOPで継続してきた日中の研究者によるチベット高原観測研究の成果を実際の気象予測に役立てたいという中国政府の要請に応えるものであった。国際貢献の点からも高く評価される。

B. GAME で展開された観測網を活用¹⁷し、更に、チベット高原中部、タイ北部に新たに強化観測網を構築し、観測資料を継続的に取得できるシステムを構築した。陸面過程の研究は主にチベット高原で進められ、土壌水分・凍土の融解・凍結などの時間的・空間的分布

¹⁷ Yang K, Koike T, Ishikawa H, Ma YM, J. Meteorol. Soc. Jpn., 82, 131-153, 2004

が得られた。

C.衛星搭載用の改良型マイクロ波走査放射計などを用いた、積雪・土壌水分・地温・植生
水文量・降水量などの算定アルゴリズムの開発に成功した¹⁸。各種の地域でそれらの検証を
行なった。

D.地表面の非均一性を考慮した陸面-大気熱・水フラックスを推定するモデルの開発に
成功し¹⁹、チベット高原の永久凍土帯で、GAME の資料も併用してモデルの妥当性を確認
した。また、土壌水分と地温のデータ同化システムを開発し、大気大循環モデルに結合さ
せる研究にも成功した。土壌水分の観測結果を図 29 に示す。

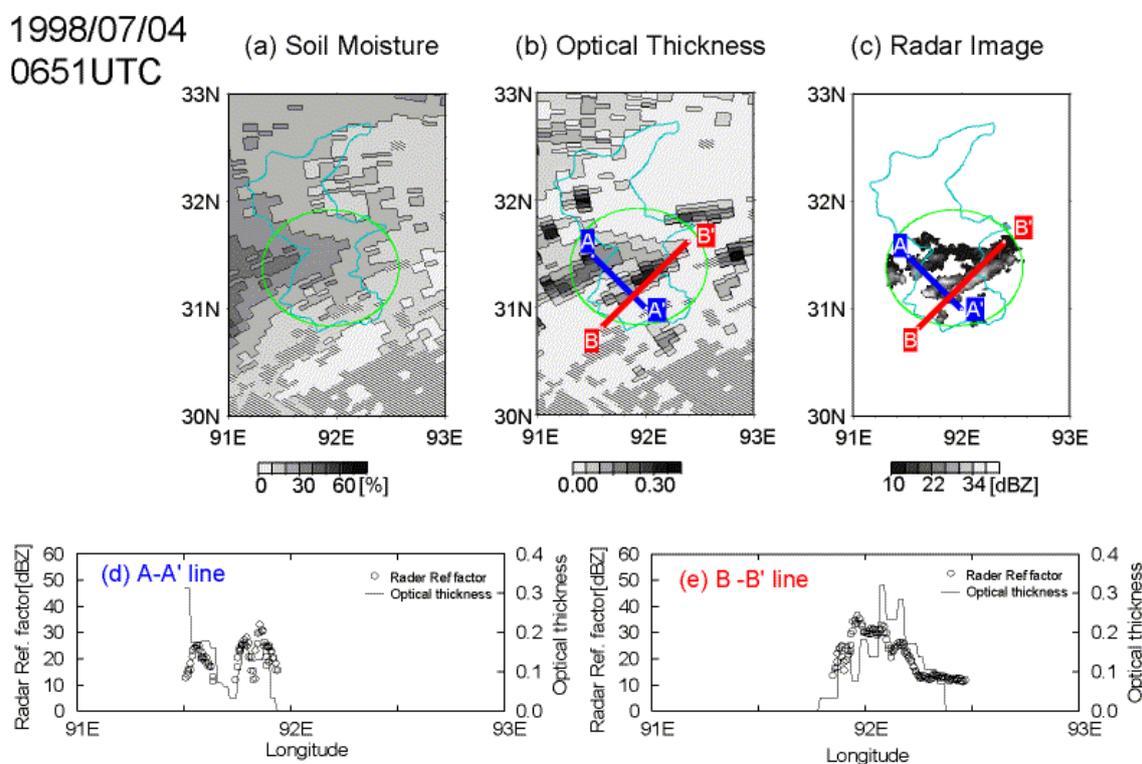


図 29 土壌水分の観測結果

E.2002 年にヨハネスブルグで開催された「持続可能な開発のための世界サミット (WSSD)」
で、地球規模の水循環変動の統合的な観測の重要性を指摘して国際世論を形成し、地球水
循環の観測、情報共有の推進の実施計画に盛り込むことに貢献した。

¹⁸ Yang K, Pinker RT, Ma Y, Koike T, Wonsick MM, Cox SJ, Zhang Y, Stackhouse P, J. Geophys. Res. -Atmos., 113, Art.No.D17204, 2008

¹⁹ Yang K, Koike T, Ishikawa H, Kim J, Liu HZ, Liu SM, Ma YM, Wang JM, "Turbulent flux transfer over bare-soil surfaces: Characteristics and parameterization" J. Appl. Meteorol. Climatol., 47, 276-290, 2008

F.2003年3月の第3回世界水フォーラムでは、世界の水管理の多様性、統合的水管理、地球環境変動と水資源などについて議論し、『閣僚宣言』に、気候変動の影響を含む地球規模の水循環の予測及び観測に関する科学研究を推進し、データ共有のための情報システムを発展させることを盛り込むことに貢献した。

G.本研究は大気－陸面相互作用の衛星観測手法とモデルの開発と現象の解明に関する科学的成果に加えて、国際社会における地球変動の研究の推進とその成果を公共の福祉へ役立てる体制づくりの観点から、社会的にも重要な役割を演じている。

H.本研究の成果を踏まえて、CEOP（地球統合強化観測プロジェクト）のデータの統合を実施した。GEO（地球観測の政府間部会）による GEOSS（全球地球観測システム）の10年実施計画を立案し、GEO 設立後、GEOSS のもとでアジアにおける地球観測による水循環に関わる国際協力 AWCI（アジア水循環イニシアティブ）を計画し、実行に移した。そして、第3期科学技術基本計画における国家基幹技術（海洋地球観測探査システム）「データ統合・解析システム」プロジェクトを実施した。

(2) 応用に向けた発展

本研究は基本的には GAME の構想を引き継ぎ、更に発展させたものであり、WCRP（世界気候研究計画）における CEOP 立案に指導的役割を果たした。その成果は地球水循環に関する研究プロジェクトの一つとして世界的に注目されている。

(3) 人材育成状況

参加研究者に関する現在の状況は、Yang Dawen が精華大学の教授に、Yang Kun が科学技術院の教授に昇進した。また、他に2名が学位を取得した。

また受賞に関する追加情報として以下があげられる。

小池は、2009年9月に中国科学院アインシュタイン教授章を受賞した。これは本研究も含めたチベット高原研究、CEOPの国際的リードが対象となっている。また表彰式は2010年7月に挙行される予定であるが、第12回日本水大賞国際貢献賞の受賞が決定した。これはCEOPの国際調整が対象である。

3-4 衛星利用のための実時間海洋基礎生産計測システム（研究代表者：才野 敏郎）

3-4-1 研究期間中における状況

(1) 本研究開始の頃の状況

地球規模の気候変化、環境変化において海洋における熱・エネルギー循環と物質循環の変動が大きな役割を果たすと考えられているが、その実態を解明するためには適切な時間・空間スケールでの観測・研究が不可欠である。海洋における炭素循環の解明には、炭素の鉛直輸送を担う生物ポンプの活動の地理的分布とその変動を明らかにすることが必要であり、そのためには人工衛星・海色リモートセンシングによる植物プランクトンの量と光合成（基礎生産）の測定がただ一つの現実的な観測手法として期待されていた。一方衛星データを利用したプロセス研究は、基礎生産に関する限り、それまで十分な検証データが存在しなかったため、短期的な変動を追跡した研究はほとんど存在しない状況であった。気候変動予測研究のための物質循環研究としては、物質循環の素過程を明らかにするための短期的な変動に対する解析的なプロセス研究が不可欠であり、本研究ではそれを可能にするための、衛星基礎生産データの実時間検証システムの開発を目指した。

(2) 特筆すべき事項

A.海洋設置自動昇降ブイの開発に成功した。光学センサーを搭載した計測ブイと、それを自動的に昇降させるための音響通信制御機能を有する水中ウインチシステムからなるもので、さらに水中音響通信と空中電波通信機能が付加されているものであった。

B.当初は既製品を用いる予定であった基礎生産プロファイラー（高速フラッシュ励起蛍光光度計(FRRF)）について、研究を効率よく迅速に進めるために、民間企業の協力を得て自主開発に成功し、実用化の目途をつけた。

C.光学的測定で得られる基礎生産は、非破壊的に計測された現場の植物プランクトンの酸素発生に対応する瞬時の総基礎生産であり、今までの瓶培養法とは全く異なった方法であることから単純に比較することが出来ないために、新たな検証方法を開発する必要があった。このために、当時発表されたばかりの酸素 17 同位体比異常法を採用し、新たに FRRF 法による総基礎生産の検証法を開発した。

D.チーム型研究の特長を生かして、国内民間企業と大学がそれぞれの能力を互いに向上しえる適切な協力体制を構築・発展させ、自動昇降ブイの開発成功に結実させた。分担研究者の構成は適切であり、研究体制は有効に機能した。

3-4-2 研究終了後の基礎研究としての継続・発展状況

(1) 本研究以降に獲得した主な研究助成金

研究資金	研究テーマ	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
CREST	衛星利用のための実時間海洋基礎生産計測システム			3期										
SORST	人工衛星による海洋基礎生産モニタリング													

図 30 本研究以降に獲得した主な研究助成金(才野)

本研究以降に才野が獲得した主な研究助成金は、図 30 のとおりであった。

A. 発展研究 SORST「人工衛星による海洋基礎生産モニタリング」(2004-2009 年度)

本研究終了後切れ目なく継続されたプロジェクトである。本研究で開発した海中自動昇降式ブイシステム、光学的計測による基礎生産測定のためのセンサー、アルゴリズムを活用して、実用計測システムを 2 式整備した。この実用システムは北部北太平洋外洋域 (5100 m 深) で 1.5 カ月、および相模湾定点 (1450m 深) で 1 年間の実運用試験をおこなった。相模湾においては、自動昇降式基礎生産プロファイラーの実運用に加えて定期的な観測航海や、海水中の沈降粒子を捕集するセジメントトラップ実験を行い、これらのデータを各種人工衛星データと合わせて海洋表層での気象・海象変動に対する生物過程の応答のプロセス研究を行っている。また、水色衛星データの雲域欠測域を、海洋物理生態系モデルを利用した 4 次元データ同化手法によって補間する手法も開発した。このプロジェクトで開発・運用した実用計測システムは海洋研究開発機構で開始した、物質循環研究の主要課題「西部北太平洋における気候変動に対する生態系変動を介した物質循環の応答とフィードバック」における主要観測手法となっている。

3-4-3 研究成果から生み出された科学技術的・社会的・経済的な効果・効用および波及効果

(1) 科学・技術の進歩に貢献する成果

A. 本研究では、海洋に設置した自動昇降式ブイに搭載した光学的なセンサー類によって海洋の基礎生産を自動的に計測し、実時間的にデータ転送を行うことによって、衛星観測より得られる海色データから推定した基礎生産を実時間で検証するための計測システムを開発した²⁰。その後の研究の進展により自動昇降ブイと搭載センサー FRRF の信頼性が向上しており、多くの海域での基礎生産のデータが蓄積されてきている。本研究の成果は、一般に海洋の物理量観測に比較して遅れている生物・化学的観測の自動化に大きく寄与している。自動昇降式ブイシステムは、現在、才野が 2008 年からプログラムディレクターを務め

²⁰才野敏郎, "衛星利用のための実時間海洋基礎生産計測システム", 第 6 回領海シンポジウム「地球変動のメカニズム」要旨集, 2-19, 2004

ている（独）海洋研究開発機構において、西部亜寒帯域および亜熱帯域北太平洋の2つの時系列観測定点で運用されている。また、FRRFの計測はインド洋、北極海、南極海を含む広範な海域で実施されている。

B.図 31 に自動昇降式実時間海洋基礎生産計測システムの運用の概念図を示す。昇降ブイに搭載された基礎生産プロファイラーにより、単位クロロフィル当りの総基礎生産およびクロロフィルの鉛直分布を、また水中光量子計により水中照度の深度分布を計測する。また、別途に開発した手法によって、気象衛星「ひまわり」からブイ設置点の海面日射量を連続的に推定する。これらのデータに対して本研究で開発したアルゴリズムを適用することによって、日・深度積算総基礎生産が求められている。

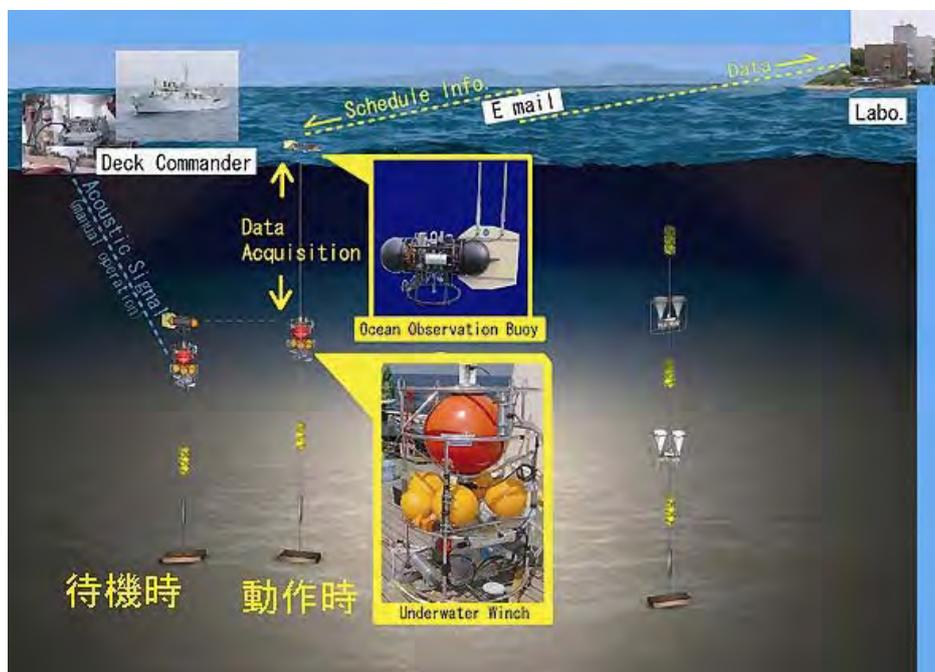


図 31 実験モデル図

2) 人材育成状況

参加研究者の本研究による学位取得者は6名であった。

3-5 アジア域の広域大気汚染による大気粒子環境の変調（研究代表者：中島 映至）

3-5-1 研究期間中における状況

(1) 本研究開始の頃の状況

人為起源の大気汚染エアロゾルが引き起こす様々な気候影響には、①エアロゾルが太陽放射を直接反射し、エアロゾルによる日傘効果を引き起こす直接効果、②雲を変化させ、雲による日傘効果を引き起こす間接効果、③放射加熱による雲量変化が作り出す準直接効果等がある。これらのエアロゾルの効果は、地球温暖化予測における最大の不確定要因の一つとされるものであった。本研究ではこれらの問題に真正面から取り組み、東アジア域の大気汚染によって発生する人為起源エアロゾルが引き起こす気候影響を明らかにすることを目的とした。特に、地球温暖化過程のより良い理解のために、エアロゾルが引き起こす放射強制力²¹の正確な値を求めることが重要な課題であった。

(2) 特筆すべき事項

A.エアロゾルの放射強制力をモデル化する際の問題点は、光学的特性の異なる成分を如何に抽出分離するかである。本研究はその可能性を技術と理論の両面から追求した初めてのものであった。

B.多岐にわたる研究課題を、最終目的を絶えず意識し、それに向けた緻密な研究計画を立てて実行した。チーム型研究の特長を活かして、適切な役割分担で対応する研究体制が組み込まれた。

C.エアロゾルの多様な側面についての研究を多くの研究参加者がそれぞれ得意とする研究課題を分担し、多くの重要な論文発表がなされた。2-2-12に示したとおり、発表論文数 160 報、Top1%に入る論文数 5 報は、本領域の全課題中第 1 位であり、最高被引用件数 274 件は全課題中第 2 位であった。

D.資金のサイズが丁度良く、使い道に自由度があったため研究がスムーズに進んだ。他の共同研究者グループに配分した分を除くと、中島が直接指揮したサブグループが実際に使ったのは 4～5 千万円程度であった。

²¹ 着目する気候変動要因が気候系に導入されたときに大気上端、もしくは地表面で生じる放射エネルギー収支の変化分。温室効果ガスを大気中で増やすと地表面からの熱赤外線がトラップされるために大気上端で正の放射強制力が発生して系を加熱する。一方、人為起源エアロゾルが増加すると、負の放射強制力が発生して系を冷やすと考えられている。

3-5-2 研究終了後の基礎研究としての継続・発展状況

(1) 本研究以降に獲得した主な研究助成金

研究資金	研究テーマ	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
CREST	アジア域の広域大気汚染による大気粒子環境の変調			3期										
科学研究費補助金基盤研究(A)	インドネシア域における生物マスが及ぼす気候学的影響に関する調査的研究													
環境省地球環境研究総合推進費	能動型と受動型リモートセンサーの複合利用による大気汚染エアロゾルと雲の気候影響に関する研究													
文部科学省教育特別経費事業	地球気候系の診断に係るバーチャルラボラトリーの形成													2013 まで

図 32 本研究以降に獲得した主な研究助成金(中島)

本研究以降に中島が獲得した当該課題に関する主な研究助成金は、図 32 のとおりである。

A. 科研費基盤研究(A)「インドネシア域における生物マスが及ぼす気候学的影響に関する調査的研究」(1999-2000 年度)

生物マス燃焼と化石燃料消費によって発生するガスとエアロゾルが放射強制力を通して引き起こす気候影響、生物マス燃焼による地表面状態の変化の気候影響に関する研究である。必要なデータを取得するための、観測点、観測装置、重点観測期間などの考察が、本研究にも反映された。

B. 環境省地球環境研究総合推進費「能動型と受動型リモートセンサーの複合利用による大気汚染エアロゾルと雲の気候影響に関する研究」(2002-2006 年度)

人為起源エアロゾルが雲場を変化させることによる間接効果の評価方法の確立、雲の再現を実現する気候モデルの高精度化を目的とした研究である。本研究の成果を踏まえた研究であり、本研究で開発した手法を採用した。

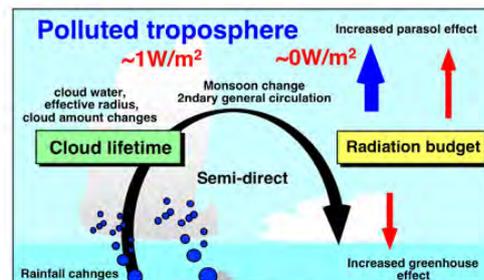


図 33 雲とエアロゾルの気候影響

研究の融合図

雲とエアロゾルの融合のモデルを図 33 に示す。

C. 文部科学省教育特別経費事業「地球気候系の診断に係るバーチャルラボラトリーの形成」(2007-2013 年度)

大学 4 センター（東京大学気候システム研究センター、東北大学大気海洋変動観測研究センター、千葉大学環境リモートセンシング研究センター、名古屋大学地球水循環研究センター）とバーチャルラボを形成して、国内レベルで観測データの気候モデルによる組織

的解析システムの確立に取り組んでいる。

3-5-3 研究成果から生み出された科学技術的・社会的・経済的な効果・効用および波及効果

(1) 科学・技術の進歩に貢献する成果

A.本研究では、雲とエアロゾルの融合に着目した点に特徴があり、国際的にも着目された。エアロゾルと雲の衛星観測結果、およびその気候モデル（エアロゾル放射モデル、SPRINTARS）は、いくつかの気候モデルに採用され広く使用されている。世界最速の地球シミュレーターを使用する文部科学省の「人・自然・地球共生プロジェクト」（2002-2006年度）²²およびその後継プロジェクトである「21世紀気候変動予測革新プログラム」（2007年度-）²³でも採用された。また、気候変動に関する政府間パネル²⁴（IPCC：Intergovernmental Panel on Climate Change）の第3次（2001年）と第4次（2007年）の報告書でも引用された。

B.本研究の中で開発した「スカイラジオメーター」は、大きな成果の一つである。スカイラジオメーターは、同じく本研究期間中に設営した SKYNET（準実時間的にデータを収集するネットワーク）で採用されている観測手法の基礎を築いた。スカイラジオメーターは千葉大学のデータセンターにあり、SKYNET で現在も使用されている。

スカイラジオメーターは、本研究後に市販され、中国、韓国、インドなどの研究者の間でも使われている。また、NASA の AERONET、欧州の PHOTON で採用されている観測手法の基礎ともなっており、さらに UNEP（国連環境計画）の ABC（Atmospheric Brown Clouds）プロジェクトにも引継がれている。

A.波長 3mm のミリ波を用いた雲レーダーも、本研究の大きな成果の一つである。情報通信研究機構（NICT）の EarthCare²⁵（Earth Clouds Aerosol Radiation Explorer）の衛星に搭載されて打ち上げられることになっている。

(2) 応用に向けた発展

A.中島は、現在、NASA の AERONET、UNEP の ABC プロジェクト、および EarthCare の日本側のカウンターパートになっている。このことも本研究の影響である。その他、中島は、2004年から2006年にかけて、IPCC-AR4 の WG1 で、Review Editor を務めたこと、2008年から学会の会員となっていること、2009年から世界気候研究計画合同科学委員会（WCRP-JSC）の委員を務めていることなども、本研究の影響である。

²² http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/18/02/06013108/002.htm#top

²³ <http://www.jamstec.go.jp/kakushin21/jp/>

²⁴ http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/ipcc_tar/spm.htm

²⁵ 欧州宇宙機関（ESA）と日本（宇宙航空研究開発機構＝JAXA と NICT）の共同開発計画 <http://www.nict.go.jp/publication/NICT-News/0905/03.html>

B.研究成果として発表した論文²⁶には、大気汚染物質（エアロゾル）によって雲が変化していることが示されており、エアロゾルと雲とを融合させた論文として、世界的に注目されている。エアロゾルと雲の関係から、地球温暖化との関係を解明し、黒色炭素粒子を減らそうという動きにも影響を与えていると考えられる。

C.スカイラジオメーターは、本研究終了後に、(株)プリード²⁷から市販された。現在、POM-1、POM-2、POM-1MKIIの3機種が発売されている。

(3) 人材育成状況

学位取得、昇進は多数に上る。中島の下で本研究に参加した研究者については、中島孝が東海大学、河本和明が長崎大学、岡本創が東北大学、竹村俊彦が九州大学、増永浩彦が名古屋大学、関口美保が東京海洋大学のそれぞれ准教授に昇進した。学位取得者は18名にのぼった。

²⁶ Geophys. Res. Lett., 28, 1171-1174, 2001

²⁷ <http://www.prede.com/new/seihingaiyou.html>

3-6 まとめ

研究総括の意見と事前調査結果を基に、大気に関連する研究では中島、陸域に関連する研究では小池、生態に関連する研究からは浅野(中静)、海洋に関する研究からは若土、さらに海洋および生態に関連する研究からは才野の各研究課題を抽出して、その後の本研究領域の発展を俯瞰すべく詳細を追跡調査した。

若土の研究は、2004年に設立された北海道大学低温科学研究所内の環オホーツク観測研究センターでの研究に主に引継がれて展開されている。本研究での成果は、オホーツク海から北太平洋にかけての研究の深化に寄与しているのみならず、南大洋・南極海における海洋循環の解明に活用されるなど、同センターは寒冷圏環境科学分野の国際研究拠点として発展しつつある。

浅野(中静)の研究では世界最高水準の森林研究観測施設の一つである高さ80mの林冠クレーンが構築された。東南アジアで唯一の本クレーンは、2003年度からのCREST研究「熱帯モンスーンアジアにおける降水変動が熱帯林の水循環・生態系に与える影響」でも活用されるなど、本研究終了後も有効に維持・活用されており、世界的にも重要な観測拠点との認識が高まっている。また、熱帯樹林の一斉開花現象に関しては、その気象トリガーが乾燥であることを科学的に実証する研究が継続された。

小池の研究は第二のCREST「水循環系の物理的ダウンスケーリング手法の開発」に継承され、地球観測衛星を用いた陸面水文量のモニタリングシステム、チベット集中観測データ等を活かした研究が継続された。小池は地球規模の水循環の観測、情報共有の推進を図るため、GEOSS(全球地球観測システム)の10年実施計画の立案、AWCI(アジア水循環イニシアティブ)の計画・実行に関与するなど、世界レベルで本分野の発展に貢献している。

才野の研究は、発展研究SORST「人工衛星による海洋基礎生産モニタリング」に継承された。SORSTでは、本研究で開発された自動昇降式ブイと測定システムの本格的運用が図られ、さらに海洋基礎生産の広域・長期観測システムの実用化、現場海域における衛星データの検証法が開発が行われている。また才野が現在プログラムディレクターを務める(独)海洋開発機構では、インド洋、南極などで水環境の研究が継続されている。

中島は人為起源エアロゾルの強制放射力に関する直接効果、間接効果を正確に評価し、地球温暖化予測における最大の不確定要因の一つとされるエアロゾルの大気熱収支に及ぼす影響の解明に貢献した。本研究で開発されたスカイラジオメーターはその後市販され国際的にも活用されている。中島はNASAのAERONET、UNEPのABCプロジェクト、EarthCareなどで重要な役割を果たしており、国際的に活動している。またノーベル賞を受賞したIPCC-AR4(2007年)ではWG1のReview Editorを努め、本研究の成果が盛り込まれた。