

## CREST「地球変動のメカニズム」追跡評価報告書

### 総合所見

本研究領域の13研究課題は、主テーマ「地球変動メカニズム」を解明する上で重要な未開拓の専門分野に適切に配置されている。それぞれの研究分野の状況は千差万別であるがいずれも「観測」、「観測成果の分析とモデル化」、「予測」の三つの研究段階の研究計画から構成されている。

研究成果の発展状況や活用状況から見ると、全ての研究課題において、「観測」関連では優れた研究成果が挙げられており、総じて研究達成度も高い、そのことは、発表された研究論文に対する評価や取得された特許の数によく反映されている。さらに、「観測成果の分析」結果による新しい知見の構築においても、顕著な成果が見られる。

本CRESTの場合、先ず観測事実の集積に重点が置かれていたので、「モデル化」と「予測」の段階への進展は必ずしも研究課題によって足並みがそろっていない。しかし、一部には顕著な成果が認められるし、中には本研究領域終了後も継続的な研究資金を得て進展している研究課題もある。

総じて、今日の気候変動研究の先駆けとなる成果を挙げたものとして高く評価できる。

未踏の分野における、こうした観測機器や観測施設の開発、新しい知識基盤の確立は、科学技術の進歩に大きく貢献していると言える。そして、観測の手法も、地上に於ける高精度観測手法の開発から衛星観測による広域観測手法まで幅広く取り入れ、両者の融合により、地球規模での気候、環境変動に取り組んだ方針は、今後、地球変動研究の方向性を示したものと考えられる。さらに、未踏の分野の開拓と言う挑戦の中で、幾つかの研究課題では、これを契機に多くの優れた研究人材が育っているし、数は多くないが関連研究者のネットワークも形成されていて、我が国の研究基盤の強化に貢献している。また、それを通じた国際貢献に於いても顕著な成果が見られる。こうした研究成果は、新しい知識基盤の構築や特許の取得によって経済的な価値をもたらし、また、環境問題などの社会的な価値も創出している。

また、個別課題がそれぞれの成果を挙げているが、一方で、課題間の連携等による複合的な成果や、領域全体としての地球変動メカニズムについての見解が必ずしも明らかになっていない。CREST課題自身に総合成果が明確に求められていないこともあるが、これだけの個別成果が得られているだけに、領域全体としての一步踏み込んだ総合的成果があればと感じる。例えば、CO<sub>2</sub>による地球温暖化を初め、今、地球環境問題は嘘であるとする本が、色々巷間に出回っているが、それらの中には世を惑わすものも多いと思われる。地球科学の研究者として、それに正しい回答を出すことがどうしても必要である。

さらに、今回のCREST課題「地球変動メカニズム」の追跡評価に於いて、もうひとつ重要だと考えられる点は、個別・固有の特色以前に、科学技術推進策をめぐる時代的背景の下で行われたという事実である。即ち、現代の科学研究として必要とされながらも実現

できなかった形のもので、初めて地球環境科学分野を対象として行われたのである。それは、優れた人材はいるが研究費が乏しい大学に、省庁の壁を越えて大学の研究にも多額の研究費が与えられ、同時に研究の進め方として欧米にある制度の「公募による競争的資金」という考えが急速に広がり、「独創的アイデアを持つ研究リーダーのもとに複数の研究者を結集して目標を実現する」ということが強調されるようになったという背景である。

その結果、いわばそれを待っていた研究者と研究テーマがクローズアップされ、多くの実際に行われた研究課題に於いて、(a) 外国あるいは広域の海洋を対象とした野外観測研究がなされ、(b) 5年という期間をフルに活用して初めて可能なものに着手され、(c) それぞれの専門知識・技術を持つ若手（ポスドク、大学院生）が実行部隊となった。今までは無理だったが、こういう研究が出来たら、と思われていたものが多く実現したのである。従って、成功すべくして成功したと考えることもできる。

## 1. 研究成果の発展状況や活用状況

研究成果の発展状況の数値的指標として、研究期間中（全研究参加者）および期間終了後（研究代表者のみ）に発表された全論文数を見ると、研究課題による違いが大きく、極大191、極小2、平均74となっている。もちろん、論文数の単純な比較だけでは全てを判断できないが、それぞれの研究課題の此迄の発展状況やその研究課題に取り組んだ研究者数がある程度反映されていると言える。また、研究期間終了後の発表論文数の多い研究課題は、概して引き続いて活発な研究活動を行っていると考えられる（野尻、若土、浅野、植松、小池、中島）。さらに、平均被引用件数も、発表論文のインパクトや研究の質、活用状況の平均的な指標と見なせる。（ただ、資料では不明だが、論文発表後の経過年数は考慮されるべきであろう。）それを研究課題別に見ると、野尻、植松、中島、若土、今脇、浅野が顕著で、優れた成果を挙げていると言える。トムソン・ロイター社が公表している被引用件数上位1%の論文としては、特に、植松、中島、野尻が目される。尚、研究領域全体の被引用件数上位1%の論文数は18報で、検索対象論文617報に対する比率約3%は水準以上と言えよう。ただ、論文の真の価値は、ずっと長い目で見ていく必要がある点も強調しておきたい。（場合によっては、10年以上たってから、その論文の価値が認められることもある。）

特許に関しては、吉村、福井、梶井が顕著であり、特に吉村に関しては発表論文数が少なく研究成果も劣るものの、装置の開発努力が大きかったと言える。その意味では、科学技術の進展に大きく貢献していると言えよう。それらの装置を用いた、今後の研究全体の進展が強く望まれる。

各研究課題に参画した研究者の受賞総数は29件で、研究領域全体として見ると概して顕著だったと言えるが、受賞したのは13研究課題中の8課題に見られ、これも研究成果の発展状況・活用状況の一つの目安としたい。（但し、論文発表から受賞に至る時間経過は必ずしも常に短いとは限らない点、CREST以外の研究成果も含まれていることがある点

には注意したい。)

次に、各研究課題毎の研究の狙いと研究期間中の達成状況および研究期間終了後の継続・発展の状況であるが、多くの課題は、それぞれの研究分野において「待たれていた」テーマであったので、これをきっかけにスタートしたテーマでもあるが、多くは既に助走段階にあり、CREST によって一挙にテイク・オフしたと言える。地球変動のメカニズムは、地球温暖化、気候変動を初めとする地球環境に関わるものとして社会的に求められている課題であるから、多くのテーマに関してテイク・オフから巡航速度での継続的研究となり、それぞれの分野での研究の進展に寄与している。

「地球変動のメカニズム」であるから多くは世界共通の研究テーマであるが、課題へのアプローチの仕方は多様である。ここでは、それに応じて分け、グループ毎に見て行くことにする。

まず、日本固有の課題、地理的に見て日本での関心・重要度の大きい課題としては吉崎、今脇、若土各課題がある。吉崎課題は、集中豪雨に代表される比較的小規模（メソ・スケール）の対流雲システムの観測とモデリングをテーマとするものである。早くから関心を持たれ研究されてきたテーマであるが、これ程大がかりに長期的に行われたのは初めてである。ちょうどその頃この重要な現象を直接対象とした数値モデルによる予報が気象庁で現業化に向かいつつあったので（非静力学モデルの現業化は 2003 年）、このプロジェクトは気象庁での開発を強く後押しした。若土課題は、ロシアがオホーツク海の観測を外国研究者に開放し、ロシアや米国の協力を得つつ自由に観測できた貴重な時期に行われたので、海洋物理学の面で基本的なデータが得られオホーツク海像をそれまでの白紙に近い状態から作り上げることができた。オホーツク海のアムール川河口付近の湿地帯から流出する、鉄を多く含む高濃度栄養分が流水生成機構と結合して、深い東樺太海流となって南下し、ブッソル海溝を通過して太平洋中層水・親潮に入り多くの海洋生物を涵養しているという、まだ仮説的な要素があるとはいえ、新説を得たことなどはロシアを含む研究コミュニティとして貴重な財産でもある。多くの面で影響を受ける日本にとって重要な環オホーツク地球環境研究が北海道大学で継続的に行われる出発点ともなった。今脇課題では、日本の海洋研究では最も古く、最も力を入れられてきた黒潮の観測に最新の測器を持って取り組んだものだが、琉球列島の東側を北上する流れの発見はあったものの歴史の長いテーマだけに、これを機とする新しい展開は無かったようだ。一方で黒潮変動の予報を実施するとの目標も掲げていたが、同時期に国内の他のグループでも同様の活動が始まり、そちらの方が実現している。ここで見た 3 課題は、科学としても社会的にも日本においては重要なテーマであるが、必ずしも国際的に今、重視されているわけではないので海外で注目され多く引用されるタイプのものではない。ただし若土課題はオホーツク海研究の出発点となるので、今後長く価値を持ち続けるだろう。

次に本領域の特色である海外や日本の縁辺海でない海域を対象とした野外観測として野尻、本多、浅野、小池、中島の各課題がある。野尻課題では、今まで無かった亜寒帯太平

洋で海洋物質循環プロセスの定点継続観測を行い、地球規模でのこの分野の知見に貴重な財産を作った。比較観測など国際協力のもとに行ったので広く知られ引用もされている。本多課題はモンゴルを場として草原の純生産を衛星観測から見積もる基礎を作るというユニークな着眼点を持ったものであったが、論文数、特許出願数とも必ずしも多くはない。しかし、そこで進められた二方向反射指数は、今後打ち上げが予定されている GCOM-C 搭載予定の SGL1 センサーにその考えが展開されていて、課題代表者自身がセンサー開発の **Principal Investigator** を務めていることから、本研究領域の課題としての成果が挙げられていると考える。ただ、現地実験による多くの価値あるデータ（モンゴル等における）を有していることから積極的に論文発表をしていくことが望まれる。浅野課題、中島課題はボルネオ熱帯林の生態系、東アジアのエアロゾルの科学という現在の典型的な環境問題の基本に関わる課題に取り組んだもので、代表者はいずれも日本の第一人者である。国際的な協力も十分に行われ、浅野課題では観測サイト（すなわち、マレーシア林冠クレーンの継続的利用）、中島課題では国際協力（すなわち、SKYNET、AERONET の枠組）の人的ネットワークという財産を残した。論文発表も多く国内での受賞もあり、国際的にも知られているようだ。小池課題は、衛星観測、チベットでの現地観測、水循環に関わる諸過程の解明とアルゴリズムというキーワードで結ばれた本研究代表者ならではの視点と手法に基づく研究で、その後の展開（CREST、水の循環系モデリングと利用システム）によって実用的な流出モデルにまでつながる。論文被引用件数は多くないが、今後も続く堅実な基礎を作った。

3 番目のカテゴリーとして、測器開発、手法に焦点を絞り、世界のどこでも適用出来るが、さしあたり特定地点・地域で観測を行い、測器の動作確認とその地点でのプロセス解明を行った課題として福井、植松、梶井、才野課題がある。それぞれの分野の科学的、観測技術的バックグラウンドを活用して新しい、より高度な（あるいは困難な）観測技術にチャレンジし、それによって今まで得られなかった（あるいは得られ難かった）知見の獲得を目指すという点で共通しており、いずれも当初目標（技術課題）をクリアーしている。当然それをもとに継続観測、広域観測、他の地域での観測等に発展が期待されるが、本評価資料第 2 章 2.2 の記述の中には見られなかった。このカテゴリーの研究課題で、後続研究が無いのは目的を達したと言えるかどうか考える必要がある。

測器開発が一つの重点なので、どの課題でも特許を申請しており、研究期間後を含め成立した特許数は福井 6、梶井 4、植松 1、才野 1 となっている。福井、梶井では文字通り測定器が生命なのに対し、植松、才野各課題では測器を含む特定目的の「装置」の開発を目指したので特許数の差は理解できる。

最後に吉村課題は、イギリスとインドの天文台における過去 100 年間の太陽撮像からその半径の変化を検出しようというユニークで野心的なものである。現在、地球温暖化の原因を太陽活動に帰するなどの「地球温暖化懐疑論」が横行し、気候変動対応政策にも影響を及ぼしかねない状況にあるが、専門家が真剣に取り組んだものとして、成果が得られ

ばその価値は極めて高い。何とかしてこれまでの研究を継続し結果を出すようにすべきだろう。なお、写真として保存された太陽像をデジタル化する読み取り装置の開発に大変な努力を払い特許を7件も得ているのは立派である。

次に、全般的な評価について述べる。

最初の「研究の狙いと達成状況」であるが、本研究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て、13の研究テーマがほぼバランスよく、それぞれの個別領域に配分されて、「地球変動のメカニズム」の解明に挑むと言う構図となっている。そして、地球のグローバルかつ長期的変動の要因となる大気－海洋－陸面の相互作用、熱帯雨林と二酸化炭素の関係、大気中の汚染物質の放射特性、太陽とそのエネルギー輻射などに関する研究が行われた。

これらの目的に沿って、此迄不十分だった各研究分野での観測的研究の拡充、自動化装置の開発による長期間継続した精度の高いデータの取得、人工衛星とリモートセンサーの活用による温度や組成などの基準観測と全体的なデータの収集に先ず着手されたが、全ての研究課題を通じて、これらの研究・開発段階では顕著な成果を挙げて、立派に達成されたと言える。さらに、観測成果の分析による新しい知見もかなりの研究課題で取得され、それらを取り入れたモデルによる数値シミュレーション研究や予測の試みもなされているが、残念ながらその達成度は50%ぐらいと思われる。

研究終了後の状況を見ると、多くの研究課題の研究代表者は本研究終了以降に於いても研究の展開・発展に伴う研究予算を獲得している。その結果、本研究領域で実施された研究がその核心部分で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（若土、浅野、小池、才野、中島）。

## 2. 研究成果の科学技術的および社会・経済的な波及効果

### 2.1 科学技術の進歩への貢献

結論的に言えば、この研究領域の特性として、先ず取り上げた研究分野の未知の現象の実態を正確に把握する必要があり、程度の差はあっても全ての研究課題に於いて観測機器や観測施設、あるいは、読み取ってデジタル化する装置を自ら開発する必要があり、5年間の研究期間の半分以上はそのために費やされているようである。しかし、その開発成果は国内外の諸分野に広く貢献していると見られる（若土、浅野、植松、中島、吉村）。

また、観測成果についても、未知の分野に関して幾つもの新規の知見が得られ、その影響が拡大しつつある（若土、浅野、中島）。さらに、モデル化や予測の試みも積極的に行われ、その内の一部に関しては実用化の芽が成長している（植松、吉崎）。

こうした未踏の分野の開拓と言う挑戦の中で、幾つかの研究課題ではこれを契機に多くの優れた研究人材が育っているし、数は多くないが関連研究者のネットワークも形成されていて、我が国の研究基盤の強化に貢献している。ただ残念ながら全体的に見ると、今後の継続的な研究による進展の期待できる研究課題がある一方で、そうしたことが難しいと

思われるものもある。(「3. その他特記すべき事項」参照)

いずれにしても、地球変動のメカニズムと言った“人類共通の知見”を追い求めている要素の多い分野は、簡単に、ある研究結果から“これで解決”とか、“研究はもう終了”とかいったことには、一般に、ならないものであり、何らかの継続的持続が必要な研究領域と言える。

最後に、人材育成と波及効果と見なせるやや間接的な科学への貢献について記す。

まず人材育成に関しては、「総合所見」の項に記したように CREST の仕組みが大学の指導的研究者を代表者とし、研究費でポストクなどを雇う事の出来る研究推進システムだったので、また、CREST 以前にはそのような事が困難であったので、全体として若手の人材育成に果たした役割は計り知れない。特にポストク制度については、よく言われるように大学院の博士課程を終えた所では研究者として出発点に立っただけなので、実地の研究を独力で行うに至るまでには、医師のインターンのように経験者と一緒に仕事に従事するプロセスが必要である。「地球変動のメカニズム」の場合、多くの海外野外観測が行われ、それに従事したポストク研究者の多くは初めて現地を知り、独り立ちできるようになったと思われる。ただし、「ポストク問題」として広く議論されているように、せっかく獲得した知識・技術を次の研究に生かせるような雇用の継続性が無いと、科学界としてのこの大きなプラスが有効に機能しないという事になり兼ねない。

## 2.2 社会・経済的な波及効果

「地球変動のメカニズム」は、工学・農学のような実際の応用に結びつく基礎研究ではないので波及効果を考える事は難しい。しかし現在、地球温暖化、気候変動という人類全体にとっての大問題に対応する、いわば公共の利益につながる研究なので、研究成果は色々な意味で社会的波及効果を生む可能性がある。すなわち、新しい知見の獲得などの果実は教育にも貢献し、それによって知識基盤も構築され、また、環境問題などの政策の基礎となる知見を与えるものである。

それぞれの課題に応じて、地球環境問題への対応の波及効果を見ると、中島課題の成果は、地球温暖化予測の大きな不確定要因であるエアロゾルの効果、その放射特性と雲核としての働きを明らかにし、温暖化予測の確度向上に、その結果として CO<sub>2</sub> 排出削減政策を適切なものにする上で欠かせない。中島課題の研究が SKYNET 観測ネットワークとして継続され、また AERONET 観測ネットワーク、EarthCARE 衛星観測計画にも生かされているが、これらは世界全体での温暖化対応策の科学的基礎を強化する。

若土課題は、同じように地球温暖化によって生じる環境変化の中でも特に日本にとって重要なオホーツク海の海氷生成が将来どうなるかの予測には欠かせない海洋物理学的基礎知識をもたらした。これまでロシア(旧ソ連)により閉ざされた海であった故にいわゆる流氷の発生域とそこでの海氷生成メカニズムは推測にしか過ぎなかった。十分とは言えないが、オホーツク海の海氷はいつ頃消失するか、その日本の気候や水産資源への影響は、

といった社会的に重要な問いに答える最小の科学的基礎は出来た。

資料の 3.2 によれば浅野課題ではボルネオ島の現地での観測を通して環境問題の意識が現地人の間にも徐々に浸透し、焼畑農業の現地での森林利用法と生物の多様性保持での重要性に関する知識が向上しているという。

今協課題で目的の一つであった黒潮の変動を主体とした海況の予報—海の天気予報が実現すれば水産業、船の運航、レジャーなど社会への応用が開けるはずである。

ただ、このような最終的な段階にまで至っていない研究課題が少数ながら見られ、様々な予想外の困難があっても当初の研究目標が未完了に終わらないような対処が望まれる。

(「3. その他特記すべき事項」参照)

CO<sub>2</sub>による地球環境温暖化をはじめ、いまの地球環境問題は嘘であるという本が、いろいろ巷間に出回っている。それらの中には世を惑わす本も多いと思われるが、地球科学の研究者として、それに正しい回答を出すことがどうしても必要である。しかし、本領域として、その面が進んだとはまだ言えない。

このように見てくると、30～35年前にはまだ純粋な科学研究の対象であった気候変動や温暖化などの問題も、今日では、社会に直結した課題となり、その問題解決のために科学技術の即時的な利用が期待されるようになった。このために、ややもすると短期的な成果を求める研究課題が取り上げられる傾向が強い。このような環境の中で、13年前に開始された本研究領域では、将来を洞察した基礎的・基本的な研究を振興させるという確固たる視点に立って運営された点は高く評価される。その結果、本研究領域から生まれた観測の枠組みやネットワークが今日継続され、発展されていることは、研究当事者の努力は勿論のこと、社会がその必要性を認めていることの証左と言える。研究領域開始当時に、人選を含め先見の明があったものと評価したい。さらに、「総合所見」で述べた研究を巡る社会的背景の変化についても、改めて強調したい。

### 3. その他特記すべき事項

CRESTのような研究推進事業のメリットとデメリットについて考えてみたい。

メリットは、しっかりとした選考過程を経て、基本的に重要で、未開拓な基礎的分野が開け、それを個別分野において良く理解する基盤を構築する点にある。

デメリットは、そうした個別の新規の研究課題を横断的に包み込む、より大規模の全体的研究課題の実現が、採択された研究課題（すなわち、ボトムアップ（公募）により研究を構成）だけで必ずしも保証されていない点であろう。そうした大局的な問題は、別途国として考慮されているものとするが（すなわち、トップダウン的に一つの成果を目指して研究を構築）、CRESTのような公募方式の研究資金の場合、たまたまその年に応募が無く、しかしその研究領域にとって基本的に不可欠なテーマがあったとして、当該の現象を解明する上でその部分をカバー出来ないようなことが起きないだろうか？つまり、全体の成果を見易くするために、個別の研究の推進（ボトムアップ）と、大局的な配慮（トップ

ダウン)の調整は、どのように担保されるのであろうか?この点の解消が、今後の課題となると考えられる。特に、次期の科学技術基本計画が“研究重点化”から“課題解決”へシフトすることがはっきりしていることから、課題解決に必須となる出口の明確化に向けて、ボトムアップとトップダウンと調整は、重要な鍵となるのではないだろうか?

さらに、5年間と言う期限は、研究課題の振興に関しても今後考慮を要する点について問題を提起したい。今回の5年間の研究期間が適切だったかどうかについては、既に「事後評価報告書」でも「短い」と言う指摘がなされている。今回の13研究課題は、概して「観測」、「観測成果の分析とモデル化」、「予測」の3段階の研究発展段階を想定し観測に取り組んでいる。「観測」を中心として、総じてすばらしい成果が見られているが、当然のことながら予期しない障害も出現するわけで、その解決のために時間が取られることになる。幸いにも、CRESTでは研究実施上のルールが適切なのに加え、事務局体制、サポートシステムが整っており研究者(特にリーダー)の負担が少なく、効率的に研究が進められた。(関係者からの感謝の言葉が聞かれた。)その結果、各研究課題は見事にそうした障壁を克服したわけであるが、5年間のかかりの時間を観測上の問題のために費やす結果となっており、残りの研究段階が多かれ少なかれ手を着けられないことになる。したがって、研究過程に於ける障害対応を考えるのはもとより、観測実施を第一とするなら、それを明確にして全体的な達成スケジュールをそれに見合ったものにする必要があるだろう。併せて、研究総括、アドバイザー群および研究者の三者の現実的な打ち合わせ、討議のための会合が持たれ、当該研究課題の研究期間中でのスムーズな研究の進展が図れるように研究参加者をバックアップするべく、もっとCRESTの研究管理の機能を発揮する必要があるだろう。

さらに、今後の本研究領域での新しい方向として、大気-海洋-陸面系過程の数値シミュレーション研究に於いて、数値モデルの運動量やCO<sub>2</sub>などの物質のフラックス係数をより現実的にするべく、より総合的な研究が必要であると考えられる。具体的には、海洋観測塔、ブイ、観測船による現地観測と衛星観測データおよび波浪モデルを組み合わせ、すなわち海面状態とフラックスの精緻な実測を組み合わせ研究を進めること、さらに、風洞水槽などによる実験およびその数値シミュレーションを組み合わせ研究もまた有用であろう。そうした方向性と展望も視野に入れておきたい。

最後に、研究者数についてコメントしたい。各研究課題別の研究費の全額が資料に示されていないので、主たる研究参加者の人数と研究費の総額との関係が良く分からないが、今回の13研究課題を見ると、課題によって研究代表者以外の研究参加者数の開きが大きく、0名から50名となっている。研究の種類やアプローチの仕方にも依るが研究参加者数が余りに少ない場合、当該研究課題全体の研究の進展に影響し、ひいては研究成果にも関わらないか懸念される。