

大気圏物理学分野の現状と将来

余田成男

(京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻大気圏地球物理学講座)

1. はじめに

昨今、学術を取りまく諸々の状況が大きく変化している。本学が2004年4月に国立大学法人京都大学に移行し、新たな運営形態になってから6年が経つ。この春からは、第二期の中期目標期間(2010~2015年度)が始まる。また、昨年夏に政権の交代があり、同11月には行政刷新会議による事業仕分けがマスコミを賑わした。右肩上がりであった科学技術予算にもメスが入れられ、スーパーコンピュータの開発予算も議論的になった。

また、経済のみならず学術分野でもグローバル化が進行し、世界的な大競争時代に突入している。「国際気象界のなかの日本」(廣田 勇、2009)をきちんと認識しておく必要がある。大競争の実例として、国際誌の投稿論文獲得競争や大規模な国際研究集会の集客競争が激しくなっている。米国気象学会(AMS)、英国王立気象学会(RMS)、米国地球物理学連合(AGU)、欧州地球科学連合(EGU)などの近年の活動状況を観察すれば、明白である。このような状況は、個々の研究者に対して短期的な量的業績評価の圧力が増加していることと関連していると考えられる。

今ここで認識しておくべきことは、貴族や国家というパトロンが弱体化・変質した時代の学術のあり方である。これまでのやり方が必ずしもうまくいかない時代になってきており、今後どうすればよいのか、ちゃんと考える必要がある。

2. 大気圏物理学分野の現状

国際測地学・地球物理学連合(IUGG)の傘下の8協会のひとつが国際気象学・大気科学協会(International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences, IAMAS)であるが、気象学と大気科学がandで結ばれていることに注意すべきである。前者はClimatology, Geology, Biology, ...などと並ぶギリシャ時代からのロゴスの世界であり、後者はガリレオ、ニュートン以来の近代「科学」としての大気科学であるが、IAMASは両方の学問のあり様が並立する協会といえる。IAMASの下には、気象力学、気候、中層大気気象学、極域気象学、惑星大気・進化、大気放射、雲・降水、オゾン、大気化学・全球的大気汚染、大気電気学の各委員会があり、それぞれの分野の研究交流を推進している。(ちなみに余田は2007年より中層大気気象学委員会の委員長を務めている。)このような委員会としてはないが、地球流体力学、非線型大気科学、熱帯気象学など、今日、新たな切り口で盛んに研究が進められている分野もある。これらの気象学・大気科学の分野を大別すれば、大気の運動・放射・物質に関わる3分野に分けることもできる。

また、気候に関する研究分野については、世界気候研究計画(World Climate Research Programme, WCRP)の枠組みが参考になる。現在、全球エネルギー・水循環(GEWEX)、気候変動・予測可能性(CLIVAR)、成層圏過程・気候影響(SPARC)、気候・雪氷圏(CliC)、海洋表層・大気下層相互作用(SOLAS)の5つの研究計画が実施されている。SPARCの科学運営委員会には生存圏研の塩谷氏が参画し、その中の成層圏対流圏力学結合のテーマリーダーを余田が務めている。また、太陽地球系物理学科学委員会(SCOSTEP)の下では、太陽地球系の気候と天気研究(CAWSES-II)が実施されている。

気象学・大気科学の研究手法は、他の地球物理学分野と同様に、観測、データ解析、理論、実験

（室内実験と計算機実験）に大別できる。それぞれに、今だからできることは何か（伝統芸能か革新技術か）を認識すべきである。また、研究環境の変化を察知して、時代に先駆けるべきである。ここ数十年は、人工衛星、エレクトロニクス技術、そして、コンピュータの進歩が著しく、気象学・大気科学の飛躍的展開はそれらに負うところが大きい。

ここで、研究手法とも関連して認識しておきたいことに、ビッグサイエンスとスモールサイエンス（山元 龍三郎、1999）がある。言い換えれば、トップダウン型の組織的戦略的研究とボトムアップ型の個人的知的興味に基づく研究ともいえる。衛星観測などは国家事業になるが、その公開データを解析することは皆ができることであり、アイデア勝負の要素がある。また、世界最先端のスーパーコンピュータは誰でも使えるわけではないが、パソコンの高性能化は誰でも計算機実験に参加できる機会をもたらしている。

また、もうひとつ認識すべき点は、基礎と応用、あるいは、虚学と実学の対照である。世間に流れるキーワードとしては、「新たな知を創造する基礎研究」と「出口を見据えた研究開発」、あるいは、「知的存在感のある国」と「科学技術創造立国」を対比すればよい。今、各自が取り組んでいる研究がこのような対比のどちら側にあるのか、ちゃんと認識したうえで邁進すべきである。また、同じ学問分野であっても、時代とともに両端の間で変遷することもある。数値天気予報は、コンピュータの誕生以来、トップダウン型の組織的戦略的研究であり続けているが、半世紀前の数値天気予報は新たな知を創造する基礎研究であったのに対して、今日の数値天気予報は社会に役立つ工学的情報技術となっている。

更に認識しておきたいこととして、近隣学問分野との関係性がある。近年、物理学の佐藤 文隆氏は地文台活動の一環として、要素還元型物理からみた気象についてつぎのような本を出版されている：「火星の夕焼けはなぜ青い」（1999）、「雲はなぜ落ちてこないのか」（2005）、「夏はなぜ暑いのか」（2009）。それぞれに興味深い読み物であるが、今日の我々の（私の）興味とは必ずしも近くない。個々のプロセスの物理的な理解ではなくて、降水を伴う気象システムや地球規模の気候システムなど、分子スケールから全球スケールまでの多くの階層性をもち、それらが連結して変動する非線型複雑系としての気象や気候の変動現象に対して、計算機実験によってどこまで理解が深まるのか、が一大関心事だからである（第4節参照）。

2. 京大気象グループの現状

京都大学 大学院理学研究科 地球惑星科学専攻 気象学・気候学及び大気物理学分科の教員は、現在次のとおりである：

教授	基幹講座：	（理学部）	里村 雄彦、余田 成男
	協力講座：	（防災研）	石川 裕彦、向川 均
		（生存圏研）	塩谷 雅人、津田 敏隆
准教授	基幹講座：	（理学部）	石岡 圭一、重 尚一
	協力講座：	（防災研）	竹見 哲也、林 泰一
		（生存圏研）	高橋 けんし、橋口 浩之
助教	基幹講座：	（理学部）	内藤 陽子、西 憲敬
	協力講座：	（防災研）	井口 敬雄、堀口 光章

各自の研究活動状況は、次のホームページから辿っていただければわかるが、それぞれの専門分野は大・中・小規模の力学、雲・降水を伴う力学、および、大気化学の分野にわたり、中層大気や熱帯大気に焦点をあてた研究も多い（<http://www.kugi.kyoto-u.ac.jp/deps/bunka/suiki/mete/member.html>）。また、研究手法は、観測、データ解析、理論、実験（室内、計算機）と網羅している。

「気象の京都」をアピールすることとして、昨年スタートした京都大学グローバル COE プログラム「極端気象と適応社会の生存科学」（<http://ars.gcoe.kyoto-u.ac.jp/> 代表は寶 馨 防災研究所教授）がある。グローバル COE プログラムは、日本の大学院の教育研究機能を一層充実・強化し、世界最高水準の研究基盤の下で世界をリードする創造的な人材育成を図るために、2007 年度より開

始された国際的に卓越した教育研究拠点形成の重点的支援事業である。過去3年度にわたり9分野で140件（京大は13件）が採択されたが、「気象」がタイトルに含まれるのは本件のみである。また、前の21世紀COEプログラムではゼロ件であり、我が国の気象教育研究を推進する中核となるべくその活動を開始している。推進担当者22名のうち8名が地球惑星科学専攻メンバーであり、うち6名が気象分科メンバーである。具体的には、学際連携組織として「教育ユニット」を設置して、多くの分野の研究者・学生が知恵を出し合い、複合的な視点でグローバルな課題に取り組んでいく。国内外の事業展開拠点（フィールド）で協働し、問題点を共有しつつ理工融合研究、文理融合研究を推進する。

3. 学術を取りまく諸々の将来展望

将来展望は、世界はどうか？日本はどうか？に完全に依存している。そして、そのような将来の状況で、日本はどうするのか？日本の学術施策をどうするのか？また、それぞれの大学はどうするのか？あるいは、それぞれの学問分野はどうか？どうするのか？どうしたいのか？必ずしも見通しがよくない状況であるが、現状をしっかりと認識したうえで、将来を展望し、具体的な目的に向かって着実に歩を進めていくことが肝要である。これは、日本人とは何者か？（内田 樹、2009）を確認することから始めるべき基本的課題である。

このような大枠で近頃思考したこと国際化拠点整備事業（グローバル 30）がある。本年度から開始されたプログラムで、全国で13の大学からの提案が採択された。これは、我が国の高等教育の国際競争力の強化及び留学生等に魅力的な水準の教育等を提供するとともに、留学生と切磋琢磨する環境の中で国際的に活躍できる高度な人材の養成を図ることを目的としたプログラムである。ここで注意して考えるべきは「言語問題」である。我々が何語で教育するのか？という問いは重く、日常に思考する言語の選択を迫っている。母国語を離れ英語化している（部分的にも）先達の国々に、国際化するなかで英語化の正負の両側面を学ぶべきである。英語をデファクトスタンダードとして、それに切り替えていくのか、あるいは、翻訳者という階層をコミュニティに持ち続け、多言語社会を目指すのか、じっくりと考える必要がある。安易に英語の授業を提供すればよいという話ではない。水村 美苗（2008）「日本語が亡びるとき—英語の世紀の中で」が参考になる。思考する言語の選択は、国際研究コミュニティでの生き残り道具、サバイバルツールとしての英語の習得（東大サバイバル英語実行委員会、1996）とは全く違うレベルの、我が国の文化の根幹に関わる問題である。

また、もうひとつ考えておきたいのは「学術」の本質についてである。それは知的好奇心に駆られた真理の探究であり、新たな知見や深い理解の獲得を目指すものである。学術は、役に立つ科学技術、**science-based technology**と訳すべき科学技術とは、はっきりと区別しておきたいカテゴリーで、科学・技術（**science and technology**）と書いたときの科学（**science**）に対応する。もっとも、役に立つといってもいろいろな役立ち方がある。最近、「科学技術外交」という言葉を聞くようになったが、学術や科学技術には外交手段としての側面がある。それは、科学・技術の国際協力を通しての関係強化や、研究者ネットワークの構築を通しての外交などをイメージしての言葉である。学術には、芸術やスポーツと似た要素もある。たとえば、ノーベル賞受賞者は、小澤 征爾やイチローのような「日本人の顔」的存在でもあり、我が国の知的存在感を高める上で大きく貢献しているといえる。

4. 大気圏物理学分野の将来展望

広く地球科学分野での研究推進にかかわる状況を展望すると、更なる技術革新によって研究手段の飛躍的变化が今後も続くことが期待できる。前述したように、人工衛星、エレクトロニクス技術、コンピュータがさらに発展することにより、研究フロンティアが拡大していくであろう。空間的には系外惑星の観測による新知見や、時間的には、地質学試料の高精度分析と高分解能気候モデルシミュレーションによる過去と未来の気候の接続など、新たな結果がもたらされるであろう。また、こ

れまでそれなりに認識できていた現象も、高精度・高分解能の観測や莫大量データに基づく統計解析などにより、従来見えなかったものが見えてくる可能性がある。技術革新により見えてくる現象の微細構造に関する最近の具体例として、運輸多目的衛星

「ひまわり7号」による台風周辺の小領域観測の結果をあげることができる。観測領域を限定することで一分間隔の撮像が可能となっており、レインバンド域の激しい湿潤対流活動や短周期重力波の励起など、これまで見たことのない現象を目の当たりにすることもできるようになってきた。

この分野では、計算機科学の発展に伴う「要素還元型物理からみた気象」から「非線型複雑系としての気象」へのパラダイム・シフトが起きて久しい。第1図に示すように、空間的時間的な階層性のある系での多階層連結変動に関して、最先端計測技術に基づく観測地球科学、およびコンピ

ュータを最大限に活用した計算機科学・シミュレーション科学の挑戦が続いている。単なるパラメタリゼーション技術としてでなく、階層連結という新たな理解の枠組を提案できるかどうかにかこれらの研究の醍醐味がある。

ここでちょっと非線型問題について考えておく。人間は元来、線型性を好むものである。それは、線型問題には理解する道筋が存在するからである。しかし、自然は線型性を好むであろうか？ 答えは否である！ 線型・非線型は単に人間の都合であり、現実には、自然に非線型であったりする。そこは計算機科学の独擅場であり、コンピュータという道具の飛躍的進歩により、新たな学問が着実に発展している。一般に、非線型問題の解法の常套的手法はパラメータ・スウィープ実験である。まずは経験の蓄積をはかり、その結果をうまく記載することで理解を深めることとなる。21世紀の気象学の出番であり、ロゴスの時代の再到来といえるかもしれない。

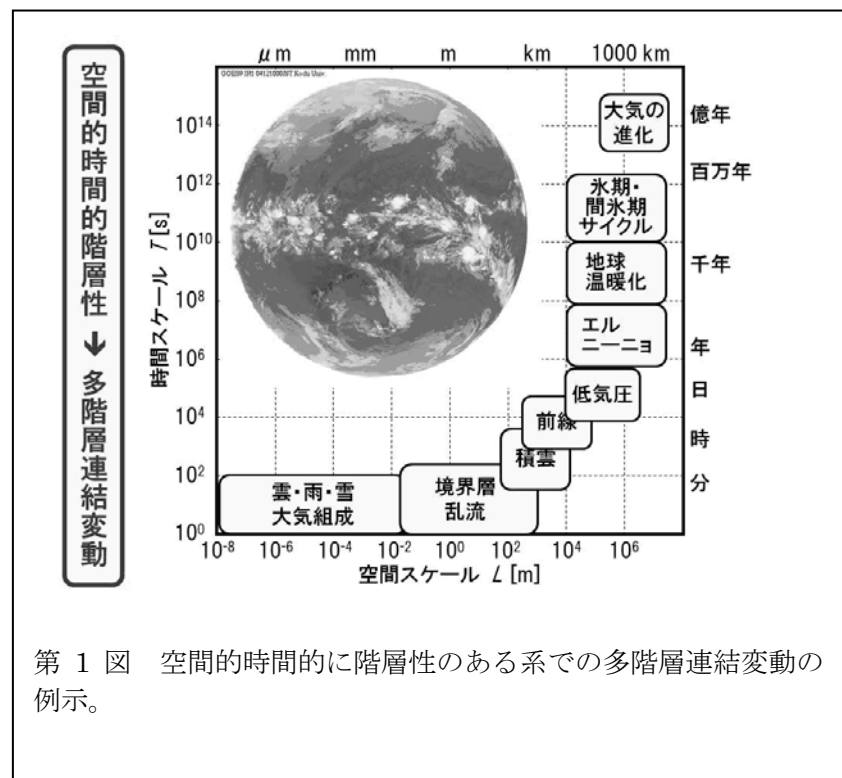
数値実験・シミュレーションの意義と価値は次の3つの何れかである。

- ① 予言性： 観測により検証されるべき新奇な事象の予言
- ② 理解促進・深化： 観測される不可解な現象についての理解の促進
- ③ 実学的意義： 役に立つ科学としての現実的意義

各自が行っている数値実験がこれらのうちのどれであることを明確に認識しておくべきである。数値天気予報の分野では、21世紀は、□実学的意義を追求すべき時代であるといえる。ダウンスケーリング予報できめ細かく、アンサンブル予報で信頼度を押さえた予報を行う段階となってきた。

5. 京大気象グループの将来展望

ごく近未来のこととして、別府の立命館アジア太平洋大学で開催する国際ワークショップ ”The 3rd International Workshop on Prevention and Mitigation of Meteorological Disasters in Southeast Asia” を紹介しておきたい。これは京大気象グループが科学技術振興調整費「アジア科学技術協力の戦略的推進」により実施してきた「東南アジア地域の気象災害軽減国際共同研究」の



第1図 空間的時間的に階層性のある系での多階層連結変動の例示。

3年にわたる活動を集大成するもので、欧米を含む16カ国から50人以上の関係研究者が参加する予定である。その主要な課題は(1)熱帯域気象の高分解能予報実験、(2)機動的観測データのインパクト評価実験、(3)気象災害軽減のための判断支援システムの試作、(4)国際研究集会開催と国際的技術協力、であり、国際共同研究の推進を通して、この分野においてアジア域で活動的な研究者のネットワークを構築することを目指している。

これから4年間は、グローバルCOEプログラム「極端気象と適応社会の生存科学」を推進して、世界のCOEとして「気象の京都」を全面展開する。さらに10年後には、2節に示した気象学・気候学及び大気物理学分野の教授の大半は退職し、次の世代に代わっている。有為な若手教員が京大気象グループの新たな段階を切り開いているに違いない。

本研究会の主題である「京大地球物理学研究」の輝かしい将来に向けて、日々、最先端研究を推進し、その現場で次世代研究者を育成していく所存である。研究活動のただ一つの目標は、時代を先駆ける研究の推進である。世界をリードする独創的成果は、世界標準のもとで個々人の知的存在感を高めることになる。そして、その集大成として、京大気象グループ、地球物理学グループの輝かしい未来の姿がある。伝統ある者の不断の革新が必要であり、世界的歴史都市「京都」の地の利を活かした研究活動を推進したい。京都には流体力学、数理解析分野の人材が多く集まっており、そのような分野との学際連携型研究も我々の特徴を出すポイントのひとつとなる。豊かな時間が流れる特有の空間を構築し、知的贅沢感の醸成をはかることで、京都ならではの研究成果に繋げていきたい。

教育の目標の大きな柱の一つは、次代を担う研究者の育成である。前途有為な人材が結集する魅力ある場を形成していきたい。物質的に恵まれた研究環境、学習環境を提供するだけでなく、知的贅沢感を味わい高満足度の得られる場をつくることが大切である。また、若者に明確な動機づけをすることも重要である。不思議だと思ふ心、知りたいという気持ちを大切にし、つねに知的飢餓感を持ち続ける状況を作り出したい。同時に、優れた研究は優れた技術・技能に裏打ちされていることも伝えたい。数理物理学の古典的技法の習得、最先端のコンピュータ技術・エレクトロニクス技術の獲得と鍛錬、さらに、同業者から他分野研究者、...、納税者市民までへの説明・会話能力の修養など、適切なタイミングでの学習を促すことに努めたい。有為な人材を集めるには、まずは我々の日々の仕事が若者の憧れの職業となる営みでなくてはならない。知的贅沢感の漂う研究生活を送り、世界標準の成果を上げ続けて、いつまでも学術世界のオザワやイチローを目指すような研究者でありたい。

文献

内田 樹, 2009: 日本辺境論. 新潮新書, **336**, 255pp.

佐藤 文隆, 1999: 火星の夕焼けはなぜ青い. 岩波書店, 190pp.

佐藤 文隆, 2005: 雲はなぜ落ちてこないのか. 岩波書店, 238pp.

佐藤 文隆, 2009: 夏はなぜ暑いのか. 岩波書店, 252pp.

東大サバイバル英語実行委員会, 1996: 理系のためのサバイバル英語入門—勝ち抜くための科学英語上達法. 講談社ブルーバックス, **B-1109**, 235pp.

廣田 勇, 2009: 国際気象界のなかの日本—京都から何が発信されたか. 国際高等研究所・竹本修三フェロー研究会「京大地球物理学研究の百年」第2回研究会 (2009.11.07).

水村 美苗, 2008: 日本語が亡びるとき—英語の世紀の中で. 筑摩書房, 330pp.

山元 龍三郎, 1999: 50年間歩んできた地球物理の道. 京都大学地球物理学教室80周年記念講演会 (1999.1.23).