

TOGA を中心にした熱帯大気-海洋結合系の研究について*

—1994年度日本気象学会藤原賞受賞記念講演—

住 明 正**

1. はじめに

今回は、藤原賞を授与いただき誠に有難うございます。藤原賞とは、藤原咲平中央気象台長の名前からきたものと聞いています。私自身、過去に、気象庁に勤めていたこともあり、このような賞をいただいたことを大変嬉しく思っています。

授賞の対象となったのは、TOGA (Tropical Ocean and Global Atmosphere) 計画、及び、TOGA-COARE (Coupled Ocean Atmosphere Responce Experiment) というプロジェクトのことですので、まず、私のプロジェクトを紹介し、そして、その具体例として TOGA 計画について触れてみたいと思います。

2. 気候研究と事業

1985年に気象庁から大学に転勤になり、気候の研究を始めることになりました。実は、「東大で新しく気候の研究を始めるから来ないか」と誘われたからです。常に、「話が有ったら新しい所に移ろう」と心に決めていましたので、さしたる考えもなく気候の問題に足を突っ込んだのでした。

当時、「気候、気候」と騒がれてはいましたが、どのような立場で気候を研究して行けば良いかは、はっきりとはしていませんでした。ちょうどその頃、文部省の特別事業として気候変動国際協同研究(山元, 1987)が発足し、第1回の WCRP シンポジウムが行われたのですが、現在の力学的なパラダイムの延長として、気候システムの問題を考えるのが妥当であり、その経験を下に、新しいパラダイムを作るべきであろうと述べた事を覚えています(住, 1987; 住, 1993)。

それでは、現在の気象学が達成したパラダイムとは何なのでしょう。それは、物理的なモデル(及び、それを可能とした現象の理解)と国際的なシステムとしての観測(モニタリング)ということになると思います。有体に言えば、GARPの成果と言う事が出来ます。GARPで成功した体制(極端に言えば、物理学に基づいて現象を理解するという枠組み)を、そのパラダイムを、次の気候という領域にも出来るだけ拡張しよう、ということだと思います(この事が、P. Morelが主導するWCRPの基本戦略であったと思います)。ただ、異なる事は、GARPの時は、ほとんど全てが気象学関係者であり、対応する政府機関も、気象庁だけであったのに対し、気候となると、全く風俗・習慣の異なる他分野と付き合いねばならない事です。また、政府機関についても、気候を所管しているところはほとんど存在せず、どこを相手にするかから問題になります。

さて、気候の研究には、データと数値モデルが不可欠であることは分かりましたが、その隘路はどこにあるのでしょうか? 勿論、「信頼できる精度の良い数値モデルがない」ということこそが問題なのですが、その根底には、計算機能力の不足と観測データの不足があると思います。言い替えば、現在の気象現象に関する確立された知識の多くはモデルの中に取り込まれており、現在、問題となっている所は、どう考えれば良いか現実を示すデータが不足している部分か、計算してみれば分かるのであるが計算時間がかかるので実質上できない、というような分野だと思います。

これらの状況を突破して行くためには、どうしても気候研究に関する体制作りが不可欠である、と思いました。現在の気候研究は、一人でコツコツ行う研究の他に、どうしても、組織的に行うスタイルの研究が必要となる、と考えました。大学という所は個人の自発性を軸に研究を行うのが本線なので、組織で行う研究は、「国立研究所に任せろ」という議論が常に大学には

* On the research for atmosphere-ocean coupled system in the tropics.

** Akimasa Sumi, 東京大学気候システム研究センター。

© 1995 日本気象学会

存在します。特に、気象学に関しては「気象庁にまかせておけば良い」という意見が根強く存在しますので、先に述べた考えを大学の中で認めてもらうのはなかなか大変でした。しかし、大学自体にとっても、自分達で組織をして大規模なプロジェクトを組んで行く体制が組めないようでは、将来的には、学問の勢いが無くなって行くと思います。特に、他分野との対話を通して、「未知の分野、未知の現象」に対して積極的に挑戦して行く構想力と実行力の必要性を痛感しました。

ここで強調しておきたいことは、「未知の分野、未知の現象」に挑戦するプロジェクトにも、2種類ある、ということです。一つは、新しい観測手段を開発し、新しい現象を見つける事、あるいは、決定的な証拠を測る事（一番分かりやすい例は、惑星探査で、今まで測れなかった現象を測るというのがこれに当たります；開発型プロジェクトと呼びます）、と、もう一つは、既存の観測システムを新たな問題意識の下に展開する（事業型プロジェクトと呼びます）、というものです。筆者の私見では、日本の観測プロジェクトでは、このような問題意識が希薄ではなかったかと思えます。日本でも、一人の研究者のアイデアによる大きな事業型プロジェクトが、資金の確保と同時に、様々な人々を組織化して行く事により可能となるような環境が重要だと思えます（いわゆるベンチャービジネスが育つ風土にしましょう、ということです、一人でこつこつするばかりでなく、一人が、会社を経営しても良いはずで）。

気候の研究においては、とりわけ、このような事業的なプロジェクトが重要になると思えます。なぜなら、気候の研究、気候システムの研究にとって何が重要か、どんな研究が重要か、明確になっているとは思われません。その一方、気候とは、時間スケールが長く、全球的な現象ですので、どうしてもその研究には、膨大な人とお金がかかります。その維持のためには、研究的な興味で参加する人だけではなく、仕事として参加してくれる人が是非とも必要になります。例えば、気候における対流雲の研究を考えてみてください。そのために、メソスケールの研究者の協力を仰ぐとしましょう。一般に、メソスケール研究者の興味では、集中豪雨とか豪雪などの極端な現象を研究したいと思います。気候の観点から見れば、希にしかない集中豪雨などは統計的なゆらぎで、どうでもない普通の雲や雨の積算した効果が重要かもしれません。このような時には、普通の雲や雨の観測を継続しなければなりません。

一方、このような観測を続けていると、データの山に埋もれて何も見えなくなる危険も存在します。気候のための観測とはどうあるべきかは、今後の重要な課題であると思います。

3. TOGA 計画

TOGA 計画は、1985年から始まり1994年に終了した WCRP（世界気候研究計画）の1つのサブプログラムです。その目的は、

(1) 熱帯海洋及び全球大気を時間発展する系として記述し、数か月から数年の時間スケールでどの程度予測可能かを見積り、その予測可能性の基礎となる機構と過程を理解すること、

(2) 数か月から数年の時間スケールでの予測のために、大気-海洋結合モデルの現実性について研究すること、

(3) もし予測可能性が示されたら現業的予報のための観測及び通信システムの設計に関する科学的な根拠を提出すること、

ということになっています (WMO, 1985)。多くの人にとって、研究計画の目標の一言一言など些末な事務文書という感じをもたれるかも知れません。しかし、個人で行っている研究の場合なら、「ENSO の研究をしよう。少し飽きたから台風を研究しよう」という具合に気ままに研究することが出来ますが、多くの価値観の異なる人間が参加する組織的に物事を進めて行くプロジェクト研究では、全ての物事の展開が基本的には文書で行われて行くのが建前なので、このような文章の一言一句の吟味も重要な事なのです（そして、一言一句をつつきあう空しさも存在します）。

以上のような公式的な説明を別にすれば、この TOGA 研究の持つ意義というのは、気候の研究として始めて組まれた本格的なプロジェクトである、ということでしょう。良く知られているように、気候の研究と気象の研究とは同じではありません。気候の研究には、気象以外に海洋や陸水・雪氷など様々な分野の研究が必要になります。対象としても、大気だけを扱うのではなく、様々なサブシステムの結合した気候システム全体を扱う必要があります。これは、気象学会の機関誌ですから気候研究の中心には当然気象の研究がある、という雰囲気を書いていますが、それは、気象学に関連した人が持つ偏見で、例えば、海洋学を専攻している人の多くは、時間スケールから考えて海洋学こそが気候研究の中心である、と考えていますし、地

質学の人達は、地球の変動を研究している自分達こそ気候研究の中心である、との自負を持っていることを忘れてはなりません。

最初の意図はともあれ、TOGA 計画は、気候を意識した気象学者と海洋物理学者が本格的に対等の立場で取り組んだ研究計画と言うことが出来ます。それが、どのようにして可能となったのか、どんな成果を残したのか、どんな歪を残したのかについては、順次触れて行きたいと思いますが、TOGA 計画10年の気象・海洋の協力の経験は、今後、気候研究の中核として機能しなければならない気象学会にとっては貴重な財産になることと思います。

4. 経過

まず、歴史的な経過からお話しておきましょう。人は、過去を語るときに、何故か「起きたことは必然的に起きてきた」かの如く考えがちですが、当事者の印象からみれば、必ずしもそうではなく、偶然に左右されることも多くあったような気がします。

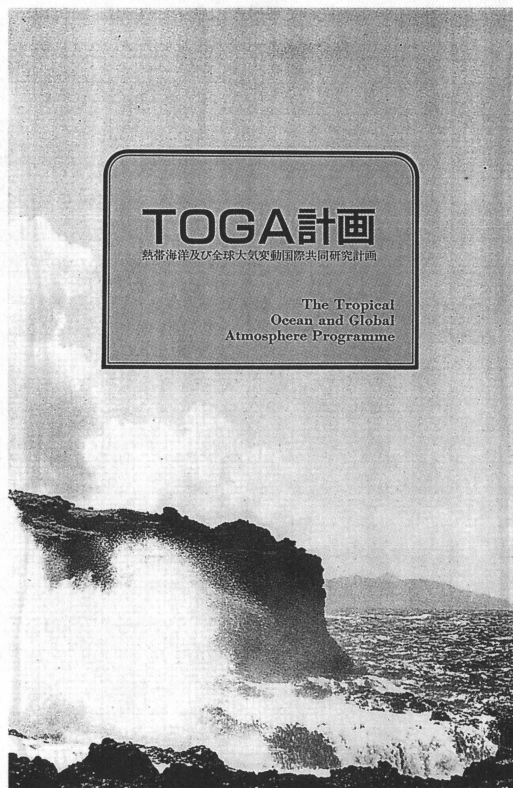
TOGA 計画は、1983年夏に気象庁で開かれた会議で最初に提案された計画でした。その背景には、(1)エルニーニョに伴い熱帯太平洋域の海面水温が変化すること、(2)それに伴い、熱帯の積雲活動に伴う熱源が変化すること、(3)そして、この影響が定常ロスビー波の伝搬として中緯度にもたらされること(いわゆるPNAパターン)(Hoskins and Karoly, 1981; Wallace and Gutzler, 1981)の三題漸が存在していました。特に、1980年代初頭には、数値モデル、気候モデルの系統的誤差の議論が沸き起り、定常超長波の維持の問題が再度、議論的となっていたことも背景の一つとしてあげられます。もちろん、もっとも大きかったのは、石油ショックの波によってGARPを軸とする全世界の気象研究の体制が維持できなくなったことでしょう(当初は、何回も行う予定でFirstが付いていたFGGEが、後に、GWEと呼び変えられたのはこのことを示しています)。その時点で、気候研究に行かなければ、気象学の発展はない、との判断が為されたように思っています。この過程で、大気に対する強制力の問題が興味をもたれ、その一つの例として、熱帯海面水温の異常が大気の長期予測に及ぼす影響について議論されていました(住・金光・神沢, 1984; 住, 1986)。つまり、TOGA 計画は、最初から、一部の人間にとっては、大気の長期予報に対する興味から考えられていたこととなります。

一方、エルニーニョに関する科学的知見としては、今世紀最大のエルニーニョが1982/83年に起きたことを除いても、Rasmussen and Carpenter (1983)によるエルニーニョに関する今までの経験がまとめられたこと、そして、Philander, Yamagata and Pacanofsky (1983)に依る大気海洋結合系における不安定が提案されたことなど1980年代初頭に大きな成果が挙げられて来ました。このような成果の一つの集大成として、ENSO 研究の milestone となったのが、1985年ホノルルで開かれたIAMAP/IAPSO の会議でした。そして、この年から、TOGA 計画の実施案作りが始まったのでした。勿論、地球温暖化問題に代表される地球環境問題に伴う気候変動に関する興味の高まりも大いに助けになりました。

5. TOGA-SSG としての活動

5.1 TOGA パンフレット

1985年、松野さんから TOGA-SSG (Scientific Steering Group) の委員を引き継ぎました。実際、気象庁から東大に移ったばかりで、このようなSSGが何をするとするか、全く、見当もつきませんでした(もっとも、松野さんとしても何かを期待して私を選んだとは考えられなかったので気は楽でしたが)。私が最初に出席したSSGの会合は、ホノルルのIAMAPの時、ハワイ大学の海洋学部の建物で、A. Gill, B. Taft, P. Niiler, J. Shkula, P. Webster, R. Flemmingなどに初めて会ったことを思い出します。Shkula と Webster は、昔のMONEXの時に顔をみたことがありましたが、後の人間は初対面であり、全く異なった環境にほうりこまれたような気がして啞然としたことを覚えています。特に、海洋関係には全く知り合いがいなかったし、内容も全く見当がつかないものでした。とにかく、全員がパワフルであることと、日本などには全く期待していないことがよく見て取れました。「名前も知らない若造がやってきて」と思ったことでしょう。「日本としても何かしなければいけない」と気負っていましたが、当時、US の TOGA の事務局が TOGA のパンフレットを作成していたので、その印刷の版を送って来れば、日本語訳を出して、日本でPRしよう、と提案してしまいました。心の中では、「そういったものの、印刷の版なんか送って来るはずはあるまい」とたかをくくっていたら、実際、その年の11月に、版が送られて来ることになって、あわてふためく事になりました。この時の苦労話は、別の所に書いた



第1図 1985年12月に発行したTOGA計画のパンフレットの日本語版。表紙の写真は、1982年-83年のエルニーニョの時のガラパゴス島の高波です。

ので(住, 1994)そちらを参照して貰うとして、松野さんの科学研究費の追加採択という偶然のおかげで、無事、第1図のような日本語版を発行することが出来ました。この事が刺激になって、後に、中国語版、スペイン語版などが作られたと聞いていますし、僕自身にとっても、努力すれば、展望が開ける、という気になった点で、非常に重要な出来事でした。

5.2 リスボン条約

さて、TOGAのSSGの2回目が、1986年の2月、インドのデリーで開かれました。このころの議論の中心は、P. Morelを代表とするWCRP体制とアメリカとの全面戦争でした(常に、US対P. Morelという構造が10年続いたように思います。USの代表は、反気象、反モデル主義の“crazy California oceanographer”のP. Niilerでした。会う度に、“当て擦り”と“皮肉”をjokeに包んで喋りまくる両者を見ているのは、なかなか、興味深い物ではありませんでしたが、と

でも、中に入って行けるような物ではありませんでした)。問題の発端は、TOGA計画が、季節予報から1年予報の役に立つから始めた、と、P. Morelが思ったことでした。その後、物事はそんなに簡単ではない(同じ海面水温の異常を与えても、中緯度のジェットの強さ如何で中緯度への影響は大きく変わる)ことが分かったので、WCRP体制(P. Morel)としては、TOGAを重視しない、と言ってきたのでした。それに対し、猛烈に反発したのがNiiler, Taftらのocean goingの海洋物理学者でした。彼らは、特に、数値モデルのために観測がある、という公式をものすごく嫌っていて、TOGAというのは学問のためにある、として、反P. Morel, 反気象学の論陣を張って大変でした。デリーのSSGで、P. Morelに対する声明文を出そう、という話になりました。それは、あたかも、「宣戦布告」と言えるものでした。その後、何がどうなったかは知りませんが、“リスボン条約”が結ばれ、今後は、P. Morelは毎回TOGA-SSGに出席しSSGの意見をWCRPの枠組みの中に反映させること、となりました。もっとも、このような話は、口込みの情報だけで、日本には、ほとんど入って来ず、“会議に行ってみるとびっくり”というような状況でした。日本は、意図しない限りこのような国際的な騒動の渦に巻き込まれることはない、というのが特徴です。しかし、これから、国際的なリーダーシップを取ろうとするならば、意図しなくても、このような騒動に巻き込まれて行くことになります。もし、本当に国際的にリーダーシップを取る気ならこれらの騒動に付き合っていく覚悟が必要です。

5.3 日本の対応—JENEXからJAPACSへ

さて、帰って来て、「日本の状況は？」と考えてみると、実に、寂しい状況でした。少なくとも日本が何かをやっているといえるのは、気象庁のGMSと137度線の海洋観測と水路部の144度線の観測程度で、後は、手も足も出ない、という状況でした。丁度その頃、懸案事項であった日本でのWCRP(気候変動国際共同研究計画)(山元, 1983)が発足する時でもあったので、課題として、熱帯海洋の全球大気へ及ぼす影響、として入れてもらうことになりました。とはいえ、日本のWCRPは雲と放射とOMLETが中心課題で、TOGAなどはモデルを中心に細々という感じでした。それでも、「何かしないかと格好悪い」ということで、北大の竹内に頼んで、オーストラリアのCSIROのG. Meyersと組んで、日本とオーストラリア間のXBT観測を行

うことにしました(実態は、XBT 代を日本が払い、実働を向こうがする、というものでした。とにかく、日本のシステムでは、実働部分を確保するのが非常に困難です。もちろん、十分に資金があれば民間業者は幾らでもあるのですが、大学は学生という安価な労働力に頼るというシステムを前提にして研究費が考えられているため、どうしようもなくなってしまいます。)これに関しては、面白い後日談があります。日本と言うのは、XBT 一つをとっても独占価格のせいか国際価格に較べて値段が非常に高くつきます。そこで、竹内は、アメリカの NOAA から XBT を安く買付け、日本を通らずに直接オーストラリアに XBT を送る、ということを行いました。竹内としては現状に対する問題提起のつもりでいましたが、誰も何も関心を示さず、何事もなく時は経過していきました。

この WCRP については、筆者にも、思い出があります。文部省で開かれた測地学審議会の WCRP 協議会の席上で「日本としては TOGA に対しほとんど貢献できなくて世界的に肩身の狭い思いをしている」と発言したら、時の課長が「大学の先生がこれで良い、と言ったから予算化したのであって、それで、肩身の狭い思いをしている、といってもらっては困る」と発言してきました。「何という官僚的態度」と頭にきました。後で反省してみると、文部省としては苦勞して予算を取ってきたのに「そんなお金では国際的に恥ずかしい」と言われたら“頭に来る”と言うこともよく理解できました。確かに、大学の先生は、「金が来るのが当たり前」という所があって、お金を稼ぐ苦勞には全く無頓着という所があります。事務担当者の苦勞を理解することはやぶさかではないのですが、それでも、事務担当者に我々の意向に従って頑張ってもらえる、研究者側の主体的な実力も付けて行く必要を強く感じました。「貧すれば鈍する」というわけで、しばしば、我々の要求は安く買いたたかれている感じを持っていましたので、「文部省がお金をくれないのなら、どこからでも、貰って来て勝手にやらさせてもらいます」と啖呵を切ってみたくて漠然と思っていました。とにかく、「結果オーライ」で、どこのお金でも成果が上がって来れば、文部省のみならず日本政府からは政治的に無視されなくなる、という判断をしていました。そのような状況にあるか、否かは、確信はありませんでしたが、当時の大学の気象には、何をしても失うものは何もないという状況に見えました。只、今の体制を続けて行く限り、大学における気象学が大きくなって行くチャ

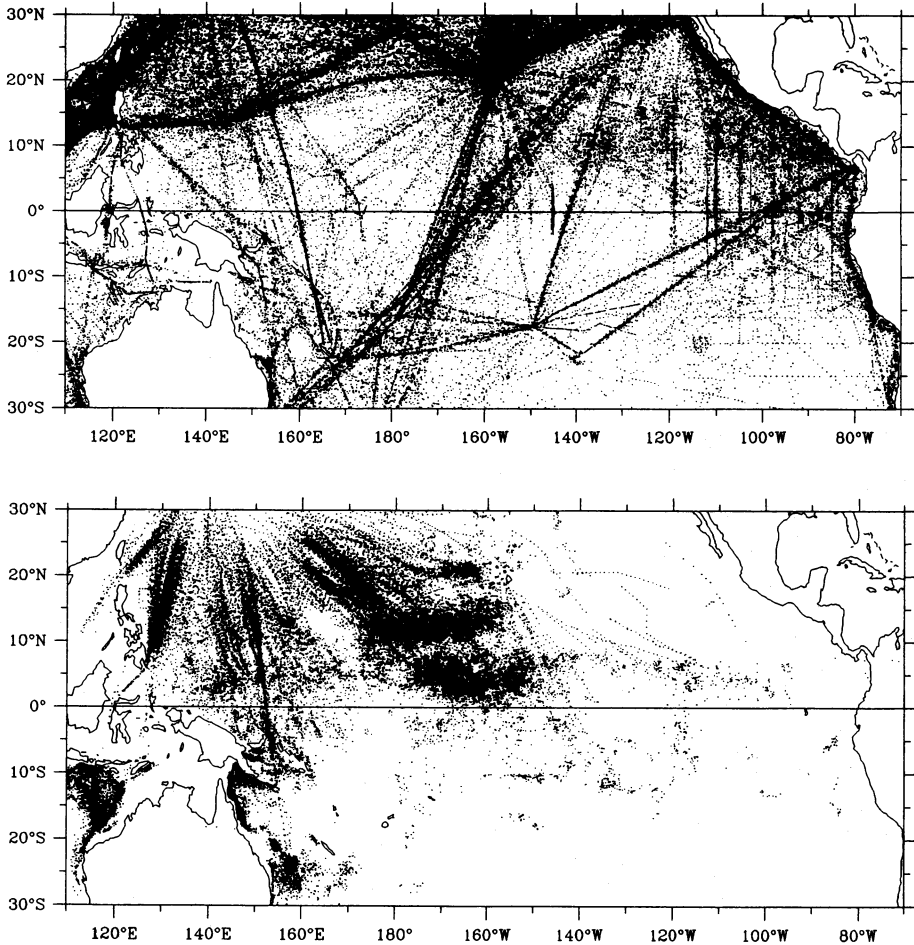
ンスはないな、という感じだけは強く持っていました(勿論、気象学講座が大きくならなくても良い、という考えもあります。一人の天才は、100人の凡才に勝る、と言うわけです。ただ、一人の天才を見つけるためにも数が必要で)。

そんなうちに、1986年の秋頃でしたか、科学技術庁の防災室からエルニーニョに関する緊急研究をやりたいが、どんなものか、との打診がありました。常識的な判断では、「事前の準備の研究もなくただ一回観測に行ったところで学問的に何の得るところもない、だから、そんな計画は止めるべきである」と言うものでした。たしかに、「正論である」と思います。しかし、このような正論からは、決してこの分野の研究を進展させて行く具体的な方法は出てこないところが問題なのです。ただただ、「予算と定員を拡充せよ」と言うばかりでは、周りのみならず自分も飽きが来ます。

当時の室長の高木さんとの接触の感じでは、その次の年度から大きな観測研究プロジェクトを動かしたく思っているような感触を受けました。「ここで、この話を蹴ってしまうと悔いを残すことになる」と思い、積極的にこの話を推進することにしました。詳細は、住(1994)に譲りますが、竹内(北大)が観測に参加してくれたことが非常に重要な要因となりました。つまり、「その当時は、大学の研究者が科技厅のプロジェクトに肩入れするなどとは持ての他」という雰囲気であったので「そんな危険を犯してまで参加して来るなら価値がある」という事になったのでしょうか。

その後、この計画は、JAPACSとして発足することになりました。科技厅の振興調整費は、普通、5年計画(1987~1991)なのですが、1992/93年に後述する COARE が開かれることになったので、熱帯の部分だけ1年延長して貰うことにしました(そんなことは出来ないといふ多くの人が言いましたが、アメリカの M. Hall や K. Mooney 達と役所巡りをしたりして科技厅を説得して、おかげで延長することができました)。

この JAPACS は出だしは動機不純なところがありましたが、結果としては、大きな成果を産むこととなりました。その一番大きな成果は、1992/93年の TOGA-COARE へ日本が参加できた事です。2つめは、このプロジェクトの中で、海洋科学技術センター(JAMSTEC)の「なつしま」を毎年赤道域に観測航海に出すことが出来、NOAA の PMEL と JAMSTEC の共同研究が進展して行くことになったことです(この事が、後で述べる TOGA-TAO コンソシウム、あるいは、



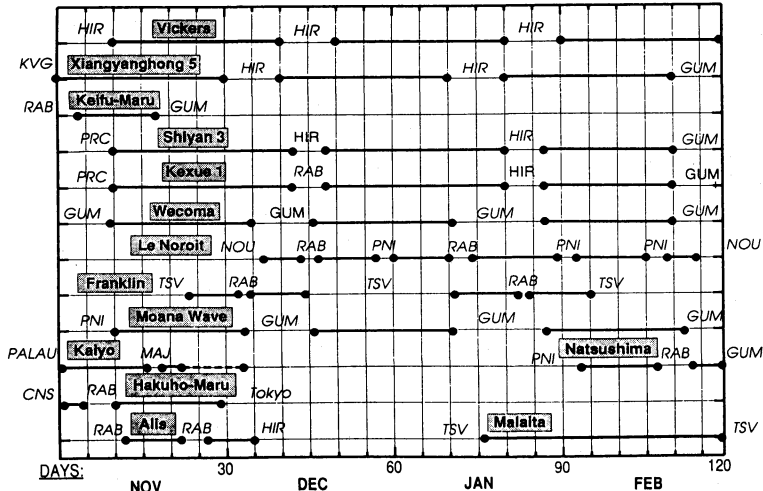
第2図 (上) 1970年から1987年のXBT観測(水温)の分布。スクリプス海洋研究所に集められたデータ分布である。それに対し、(下)は、遠洋水研の努力によって編集された1970年から80年にかけてのMBT観測(水温)の分布で、主として、日本の漁船の観測によるものである。(Kessler, 1990)

STA-NOAA を軸とした太平洋イニシアチブにつながって行きます)。3つめは、遠洋水研の水野君の努力で日本の漁船の太平洋におけるデータがデータベース化され世界に公開されたことです(日本の漁船のデータの公開の問題は、何年間も日米の懸案事項であったがこれで一応解決したことになります。第2図参照)。4つめは、気象研の村上さんたちの努力によってGMSのヒストグラムのデータベース化が大部分行われたことです。このデータベースは、後の中沢君のスーパークラスターの発見(Nakazawa, 1987)につながって行きます(このことは、長く気象衛星を維持してきた気象庁/気象衛星センターの成果です。心に止めておくべきことと思います)。5つめは、気象研において日

本における最初の大気海洋結合モデルを立ち上げたことです。気象研の努力に依って、最初は、4度・5度の大気海洋結合モデルから初めて、5年間のうちに、世界レベルまでの結合モデルが完成されることになりました(Nagai *et al.*, 1993)。

6. TOGA-COARE

1985年以来の活動の中で、TOGA-COAREを巡る話ほど印象深いものはありません。筆者の記憶では、最初の一石は、Ramage (1987)の論文ではないかと思っています。もっとも、その論文は、「西太平洋のサイクロンの発生とそれによる西風バーストがENSOの引金であり、故に、ENSOの予測は不可能」と論じ



第3図 TOGA-COAREに参加した各国の観測船、及び、運航日。略号は、HIR (ホニワラ)、KVG (カビアン)、GUM (グアム)、RAB (ラバウル)、NOU (ヌメア)、PNI (ポナペ)、TSV (タウンズビル)、MAJ (マジョロ)、CNS (ケアンズ)、PALAU (パラオ)を表す。

て非常に評判が悪かった論文でしたが。

正確に、誰が、どこで、言い始めたかは定かではありませんが、ENSOの始まる前には西太平洋の warm water pool が厚くなること、この厚みがモデルではなかなか良く表現出来ないこと、また、barrier layer の発見 (Lukas, 1990) 及び、熱帯での淡水フラックスの重要性の認識、そして、twin cyclone と westerly burst、さらに、super cluster など、西太平洋赤道域が ENSO に関して焦点という意識にみんなが1987年頃からなってきました。この内容が、測地学審議会の主導で1989年に発行された「地球科学の現状と今後の課題」に掲載されることになりました。この状況は、米国と日本とほぼ同時で、その後、両方で支え合いながらプロジェクトを進める事になりました。

この TOGA-COARE を動かすために大きな役割を果たした財政的枠組みが、国立研究所に対しては、JAPACS であり、大学にとっては、平成2年度から始まった創成的基礎研究費 (通称、新プロ) でした。この TOGA-COARE に関しては、日本がいち早く財政的基盤を確立して、世界に積極的に参加を呼びかけて行くこととなります。

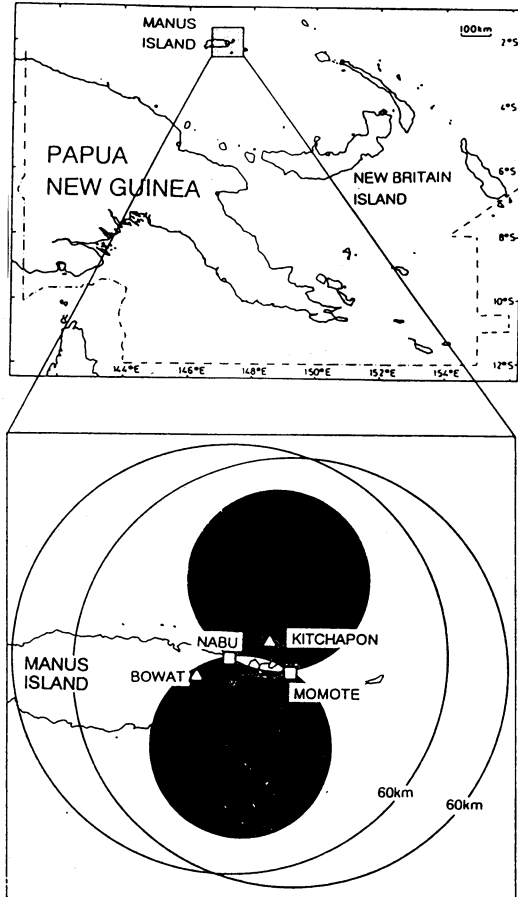
日本のプロジェクトの目標は、

(1) 様々な時間スケールの、即ち、(a) 乱流スケール、(b) 対流スケール、そして、(c) ENSO の時間スケールの大気-海洋相互作用の関係、

(2) スーパークラスターに見られるような積雲群の組織化過程、

ということでした。しかし、この COARE は、日本でも、世界でも、「そんなこと出来るのか、以前の観測とどんな違いがあるか」など、いろいろな批判にさらされることになりました。日本ですと、批判されると、なんとなくケチを付けられた感じがして“不倶戴天の敵”という気分になりがちですが、やはり、色々な角度から検討して物事は進歩して行くものなのです (このことを昔の学生は粋がって弁証法的と呼んでいたものです)。

一番大きな批判は、「熱帯の対流現象の観測は GATE で行ったではないか。何が、違うのか? (日本の場合は境界層の観測は AMTEX で終わったのでは、ということになります)」という事でした。これに対しては、まず、場所が異なる、世界中で一番暖かい海洋上の対流の振舞いを調べることに意味がある、あるいは、始めて、大気と海洋を等しく観測するなどという主張を行いました。これには、もともと、西太平洋の積雲活動を調べる TROMEX という計画が1950年代後半から60年代初頭にあり、それが、米軍とのからみで不可能となり大西洋に移って GATE になったという昔話も参考になりました。もちろん、主たる新しさは、“気候研究という視点から”、あるいは、“気候を維持している大気-海洋相互作用という視点から”積



第4図 2台のドップラーレーダーを持ち込んだマヌス島の地図。NABUとMOMOTEにレーダーを、三角印は、雨量計の設置場所である。

雲活動を観測的に研究するということにありました。

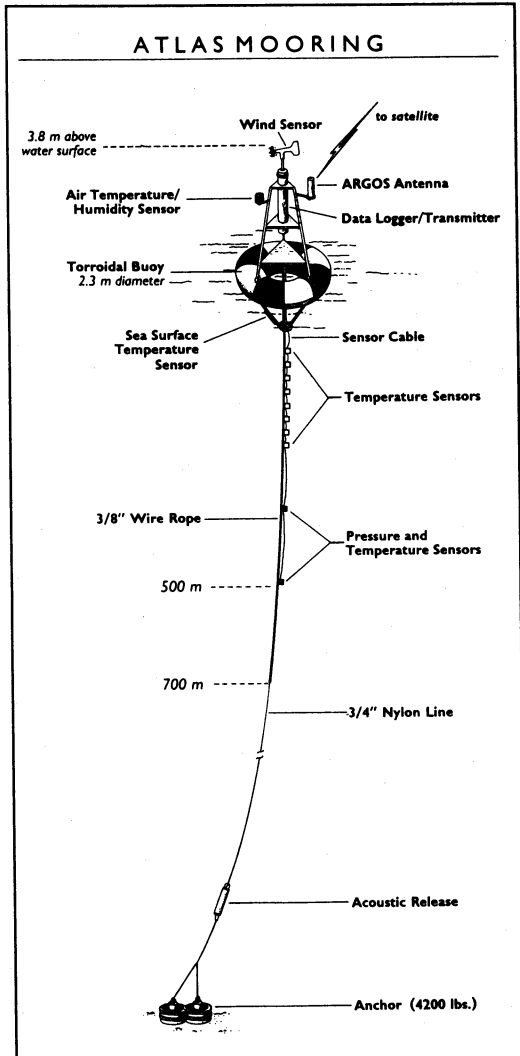
しかし、気候の研究の枠内で、プロセス研究をするというのは、非常に大変な事でした。多くの研究者は、気候が世の中の流れになれば、自分のしていることは気候にとって重要である、と行って、自分のしたいことをしようとします。そうすると、外からみると、プロジェクトとはいっても、野合で何等まとまりがない、と、物理や化学の人から批判されることになります。とにかく、気候という複雑で時間スケールの長い現象を、場所と期間を区切ったプロセス研究のプロジェクトとして行って本当に意味があるのか、というのは、非常に重要な視点です。今後とも、国家から大きなお金を引き出しながら研究を進めて行こうとする限り、

明確な意識と方法論が必要とされると思います。

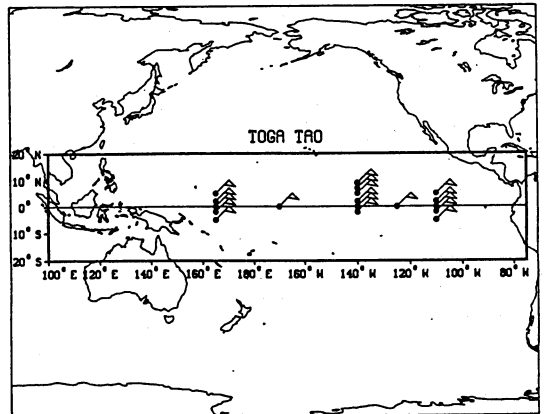
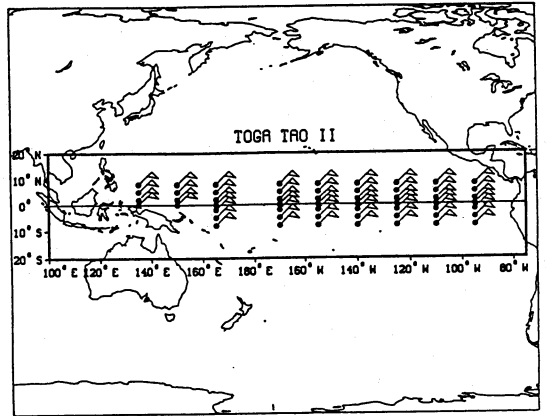
TOGA-COARE の計画段階を通して、境界層の研究者、海洋の研究者、メソスケールの研究者、大規模場の研究者たちが、共同して一つの目標に立ち向かう、ということが追求されました。もちろん、その過程で、何回も「もう止め」という事態がありましたが、空中分解せずに最後まで行くことが出来ました。その背景には、アメリカの UCAR のグループや、NOAA の TOGA Office などの強力な支持があったからの様に思います。その背景に存在した原動力は、「新しい時代にふさわしいプロセス研究を実現する」という熱気であったと思います。

日本でも大変でした。「観測をやったことが無い人間が観測をやろうとしている」と良く言われたものでした。しかし、「観測をしている人」は、TOGA-COARE をやろう、と言わないのですから、日本としては、参加を諦めるか、自分でやるしか、道はありませんでした。僕自身は、観測をしたことがなくても、観測のプロセスは企画・立案・実施ができる、と思っていました。たしかに、観測実施の際に経験も技術的な知識も必要ですが、所詮、一人で全部するわけでは有りません。大きなプロジェクトは、様々な知識を持っている人の協力を得なければなりません。そうであるならば、「明確な目的と、財政的な裏打ちと、組織化」を行えば、事は成就するはずですが、もっとも、このような決意ができたのは、JAPACS が動いていて JAMSTEC の協力が得られるメドが立っていたこと、新プロで財政的な裏打ちがあったこと、及び、過去の経験でした。一度、組織のダイナミズムとその中で人間の右往左往ぶりを経験しておけば、どんな事態になっても、たいがい対応できるものなのです。

日本の目標としては、さきにあげた2目標なのですが、具体的には、赤道上の大気海洋系の振舞いに焦点を絞りました。この背景には、国際的には、南緯2度が観測の中心になるのだが、海洋の視点からは、南緯2度と赤道上の大気に対する応答が異なること、また、スーパークラスターなどの興味あるじょう乱は赤道上を東進して来ることから赤道を選びました。このためには、数多くの観測船が必要となります(第3図)。アメリカ、フランス、オーストラリア、中国が船を出して来る中で、各方面の協力で日本も4隻の船を出す事が出来ました。また、赤道域の対流活動の組織化を研究するために2台のドップラーレーダーを持ち込むことを考えましたが、それについても、海洋上で行うこ



第5図 ATLAS 係留系の概念図.



第6図 (上) TOGA-TAOとして今は知られているが、最初は、TOGA-TAO-IIとして提案されたブイのネットワーク。(下) 1988年当時のTOGA-TAO. 当時は、これでも上出来であった。

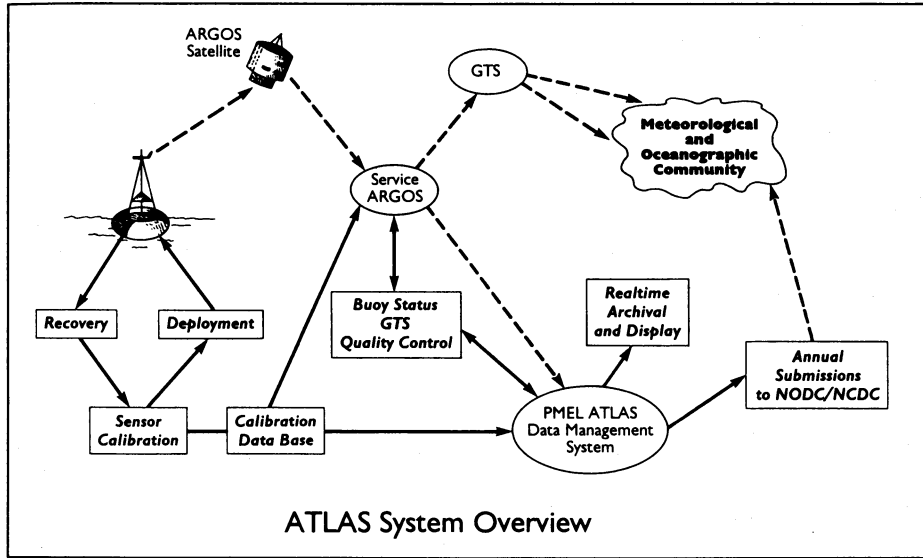
とは日本の実力から無理なので、補給・輸送などのことを考え、赤道に最も近くて、飛行機の飛んでいるマヌス島を選びました(第4図)。

これらの TOGA-COARE の計画に付いては、住ら(1993)に紹介されていますので、それらを参考にして貰うこととして、最後に強調したいのは、日本では、海洋の研究者と気象の研究者の協力が非常にうまく行ったということです。その一例は、マヌス島に北大理学部、及び、低温研のレーダーを海洋科学技術センターの観測船で運んで貰ったことです。特に、低温研のレーダーは重く、港湾施設の無いマヌス島では、海技センターの協力なくしては、実行できなかったこと

は間違いありません。

最後に、TOGA-COARE の持つデータシステムの事に触れてみたいと思います。つまり、TOGA-COARE は、network が進展した状況の中で行われた最初の大型の国際プロジェクトである、ということです。そのために、NCAR に存在する International TOGA-COARE Project Office (ITCPO) の中に、データシステムが作られており、世界中からアクセス出来るようになっています。

TOGA-COARE については、観測が終了してから時間が限られているので、成果は多くは出ていませんが、各分野の協力が積極的に進められています。今後、続々と成果が発表される事と思います。



第7図 TOGA-TAO のデータシステムの概念図。

7. TOGA-TAO

何回もあちこちを書いてきましたので、最近では、TOGA-TAO は非常に有名になりました。おそらく、TAO システムは、Pan-Pacific の drifter と並んで、TOGA プロジェクトが生み出した大きな成果であろうと思います。もっとも、当初は、そんなに、たいそうな話ではありませんでした。従来の表面係留ブイが大型で高価な物であったのに対し（気象庁のブイを想像してください）、安価で大量に展開できることを考えたのが、PMEL の偉いところです。とはいえ、赤道域を対象としていたので、台風などの嵐は無いとはいえ、赤道潜流などの強い流れもあり、開発には苦労した様子でした。この様な中で、完成されたのが ATLAS ブイ (Hayes *et al.*, 1993) (第5図) であり、そのシステムとして考えられたのが、TOGA-TAO なのです。

もっとも、最初の TAO システムは貧弱なもので、ハンブルグの SSG の会議で Hayes が恥ずかしそうに「こんな物も考えている」と言って TAO-II の絵を見せたことを思い出します(第6図)。それが、あれよあれよという内に実現することになってきました。その背景には、M. Hall 率いる NOAA の OGP (Office of Global Program) の指導力が重要な役割を果たしたことは勿論ですが、日本の海技センターが長期的な関わりを表明したことも非常に大きな効果を持ちました。特に、NOAA が TAO を実行しようと言う気にな

ってきたのは、日本が船を出して、西太平洋でのブイの展開に協力すると言ったからだと思います。

このことは、更に、TOGA-TAO 維持の為にコンソシウムの結成につながりました(1992年9月の横須賀の会議で筆者によって提案され、第1回の会議が、1992年の11月にホノルルで、第2回が、1993年にバリで行われました。第3回は、1994年10月にソウルで開かれました)。このコンソシウムの目的は、TOGA-TAO を維持するための船の運航時間を国際的にやりくりしよう、という訳です。現在では、NOAA が日付変更線より東側の面倒をみて、西側をその他の国で面倒を見ようという口約束になっています。JAMSTEC は50日の運航時間を提供してくれていますが、依然として、30日程度の運航時間が不足しています。NOAA の専用の船が就航し、「むつ」が使えるようになるまでは、綱渡りが続くことと予想されます。

この TAO は、海洋のデータとしては、初の real time のデータシステムとして画期的なものです。さらに、最近の network の発展を基礎に、世界中のどこからでも Internet を介して、データを見る事が出来ます(第7図)。この TOGA-TAO が GCOS/GOOS の枠組みでも重要なシステムと位置づけられています。

8. おわりに

今まで、ここ10年間、活動してきた経過を述べてき

ました。このような事が出来たのは、実に、多くの人の協力と好運に恵まれたからだと思います。特に、僕にとっては海洋の部分は遠い存在でしたので、大学時代のクラスメートの竹内謙介北大教授がいたことが非常に重要でした。とすれば、他分野と協同するときには、猜疑心や嫉妬心が生じることが多いのですが、信用できる友人関係で対処して行けば、それを、防ぐ事ができます。大学時代、地球物理学という広い枠組みで教育をすることの意味は、将来にわたり他分野との協同作業を可能にする意味もあると思います。

最後に冷静に反省してみると、今までの TOGA は、所詮、欧米によって引かれた枠組みに乗って活動してきたに過ぎません。その枠内では、日本の研究は、充分目立つ存在になりました。しかし、次からは、日本が枠組みを作る事が期待されています。その具体的な例が、GAME (GEWEX Asia Monsoon Experiment) です(安成, 1994)。世界の、あるいは、アジアの中核となってプロジェクトを展開する事は、予想もしない人的・資金的資源を必要とします。何年か前には、「COARE が成るか否かは我らの時代の器量による」と書きました。幸か不幸か COARE は凌ぎましたが、GAMEこそ「我々団塊の世代の正念場」という気がします。是非とも、GAME が成功裡に終了するように、今後も頑張っていきたいと思います。

参考文献

- Hoskins, B. J., and D. Karoly, 1981 : The steady linear response of a spherical atmosphere to thermal and orographic forcing, *J. Atmos. Sci.*, **38**, 1179-1196.
- Kessler, W. S., 1990 : Observations of long Rossby waves in the northern tropical Pacific, *J. Geophys. Res.*, **95**, 5183-5217.
- Lukas, R., 1990 : The role of salinity in the dynamics and thermodynamics of the western Pacific warm pool, *International TOGA Scientific Conference Proceedings*, WCRP-43, 73-78.

- Nagai, T., T. Tokioka, M. Endoh, and Y. Kitamura, 1992 : El Nino/Southern Oscillation simulated in the MRI atmosphere-ocean coupled general circulation model, *J. Climate*, **5**, 1202-1233.
- Philander, S. G. H., T. Yamagata, and R. C. Pacanofsky, 1984 : Unstable air-sea interaction in the tropics, *J. Atmos. Sci.*, **41**, 604-613.
- Ramage, C. S., 1986 : El Nino, *Sci. Amer.*, **254**, 76-83.
- Rasmussen, E. and T. H. Carpenter, 1982 : Variation in tropical sea surface temperature and surface wind field associated with the Southern Oscillation/El Nino, *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 354-384.
- 住 明正, 1986 : 海面水温 (SSTA) の効果に関するモデルの結果の国際比較に関する会議の報告, *天気*, **33**, 203-205.
- , 1987 : 気候学研究における数値モデリングを用いた戦略, 第1回 WCRPシンポジウム「気候研究の現状と将来の課題」, 8-11, WCRP 協議会発行.
- , 1993 : 地球の気候はどう決まるか, 岩波書店, 133 pp.
- , 1994 : J-COARE の経過と総括, *OASIS*, **4**, 17 pp.
- , 金光 正郎, 神沢 博, 1984 : 大気, 及び, 大気モデルにおける準定常超長波の維持に関するシンポジウムについて, *天気*, **31**, 115-125.
- , 竹内謙介, 藤谷徳之助, 上田 博, 高橋 劭, 中沢哲夫, 1993 : TOGA-COARE 計画について, *天気*, **40**, 791-809.
- WMO, 1985 : Scientific Plan for Tropical Ocean and Global Atmosphere, WCRP Publication Series No. 3, 146 pp.
- Wallace, J. M., and D. S. Gutzler, 1981 : Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 784-812.
- 山元龍三郎, 1986 : 気候変動国際協同研究計画 (WCRP) の実施が関係大臣に建議された, *天気*, **33**, 551-555.
- 安成哲三, 1994 : アジアモンスーンエネルギー・水循環研究観測計画 (GEWEX Asian Monsoon Experiment ; GAME), *天気*, **41**, 459-464.