

TOGA-COARE 計画について*

住 明 正^{*1}・竹 内 謙 介^{*2}・藤 谷 徳之助^{*3}
上 田 博^{*4}・高 橋 劭^{*5}・中 澤 哲 夫^{*6}

0. はじめに^{*1}

1989年に国際的な研究計画として承認された TOGA-COARE (略語が多く出てくるが、略語については第1表にまとめて説明してある) 計画の特別集中観測 (1992年11月～1993年2月) がこの度、無事、終了した。この観測は GATE 以来の大きかりな熱帯における大気と海洋の観測と考えられる。そこでは、従来にない膨大なデータが取得され、今後は、観測されたデータを集めての解析の時期になると思われる。また、日本からも、観測船としては、東京大学海洋研究所の「白鳳丸」、海洋科学技術センターの「かいよう」、 「なつしま」、気象庁の「啓風丸」が参加し、レーダー観測としては、北海道大学理学部、低温科学研究所の2台のドップラーレーダーがマヌス島に持ち込まれた。また、これらの観測には、全国の大学、気象庁、気象研究所、国立環境研究所などから多くの研究者が参加した。

そこで、この解説では、どのような現象の解明を目標として、どのようなデータが取られたのか、また、日本としてはどのような点に重点をおいて参加したのかの概要を述べることにする。海洋観測の詳細については第2章で、乱流観測については第3章で、マヌス島でのレーダー観測と雲物理の観測については、第4章と第5章で述べる。第6章では、衛星観測について簡単に述べる。現在分かっている限りのデータ管理につ

いては最後に述べる。

1. 計画の概要^{*1}

1.1 研究の目標

TOGA-COARE の目標は、(1) 西太平洋暖水域での大気と海洋の結合の諸過程の解明、(2) 西太平洋域の積雲対流の組織化過程の解明、(3) 西太平洋域での風のストレス、及び、浮力フラックスに対する海洋の応答の解明、(4) 西太平洋域の大気と海洋に影響を及ぼす様々な時間・空間スケールの現象の相互作用の解明、ということである。一言で言えば、西太平洋暖水域での大気-海洋相互作用の諸過程の解明ということである。これに対し、J-COARE の目標は、(1) 赤道での様々な時間スケールの大気-海洋相互過程の解明、(2) 赤道域での積雲対流の組織化についての観測的研究ということ、国際的な枠組みに対応しつつ日本の観測データのみを用いても研究出来るように考えてある。

大気-海洋相互作用の観測的な研究は、これまで主に小規模な境界層スケールにおけるエネルギーや運動量の乱流輸送現象を対象に研究が進められてきた (第2次大戦後の大気-海洋相互作用の観測の概要については別の報告 (藤谷, 1993) を参照されたい)。しかしながら、1980年代に入り、1982/83年の今世紀最大と言われるエルニーニョを契機として、数か月から数年にわたる大気大循環の変動と熱帯海洋の表面水温の偏差とが密接に関連していることが明らかとなり (WCP, 1983)、気候変動の観点から、大気-海洋相互作用が見直されることになったのである。

熱帯の大気は表面水温の僅かな変化に敏感に応答するが、この傾向は warm pool で一層顕著になっている。

* On the TOGA-COARE.

^{*1} Akimasa Sumi, 東京大学気候システム研究センター.

^{*2} Kensuke Takeuchi, 北海道大学低温科学研究所.

^{*3} Tokunosuke Fujitani, 気象研究所.

^{*4} Hiroshi Uyeda, 北海道大学理学部.

^{*5} Tsutomu Takahashi, 九州大学理学部.

^{*6} Tetsuo Nakazawa, 気象研究所.

^{*1} 住 明正

第1表 略語表

TOGA	Tropical Ocean and Global Atmosphere
LSA	Large Scale Area
OSA	Observing Synoptic Area
IFA	Intensive Flux Area
WHOI	Wood Hole Oceanographic Institute
ISS	Integrated Sounding System
IMET	Integrated METeorological buoy
GMS	Geostationary Meteorological Satellite
ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler
ATLAS	Automated Thermister Line Acquisition System
TAO	Tropical Atmosphere-Ocean array
PROTEUS	PROfile TElemetry of Upper ocean currentS
McIDAS	Man computer Interactive Data Access System

る (例えば, Seager *et al.*, 1988). そして, この応答を正しく理解することは, 西太平洋域における大気-海洋相互作用を正しく理解することに他ならない. しかしながら, 気候資料を用いた長期間の海面熱収支解析の結果 (Weare *et al.*, 1981; Hsiung, 1985; Reed, 1985) の相互の違いは 50 W/m^2 にも達している. また, 月平均風速を用いたモデル計算の結果 (Gent, 1991) や短期間の海洋観測の結果 (Godfrey and Lindstrom, 1989) も異なる結果を提示している.

この海域では風が非常に弱い事が特徴である (年平均風速で 1.2 m/s (Wyrtik and Meyers, 1976)). モデル計算において, このような低風速域におけるフラックスの評価を従来のバルク法で行うと, 大気-海洋間の結合が弱くなる. 低風速域におけるバルク係数については風速の低下と共に急速に増加するという研究 (Liu *et al.*, 1979) があり, これを支持する観測結果 (Bradley *et al.*, 1991) も報告されているが, 決定的な結論は得られていない. またフラックス評価のパラメタリゼーションをわずかに変更するだけでシミュレーションの結果が格段に改善されることが Miller *et al.* (1992) によって示されている. このような大気-海洋結合系を理解するためには, 西部太平洋の表面水温が 28°C 以上の海域, いわゆる warm pool を維持する機構やその変動について, その基礎的な物理過程を含めて解明することが不可欠であり, 境界層スケールの大気-海洋相互作用の観測的研究の重要性が一段と増したのである.

1.2 観測計画の構成

観測計画の概要は以下の通りである. 基本的に, 様々なスケールでの大気-海洋相互作用のプロセスを解明するのであるから, 第1図に示す様な LSA, SSA, そして, 乱流スケールを観測する IFA の3つの観測領域

を重ねて取ってある. これらの観測は, 4か月を予定しているが, そのほかに海洋の変動を観測するために, EM という係留系のネットワークが1年間維持される.

< IFA での観測 >

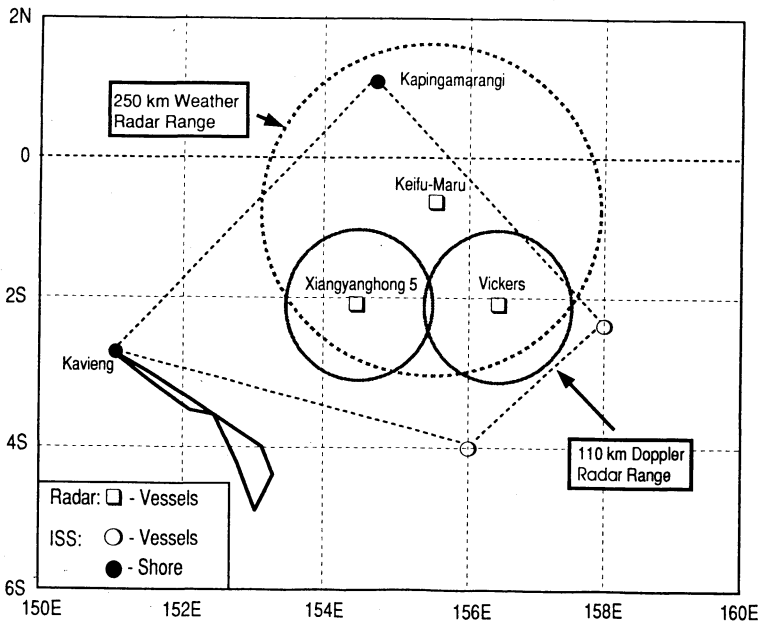
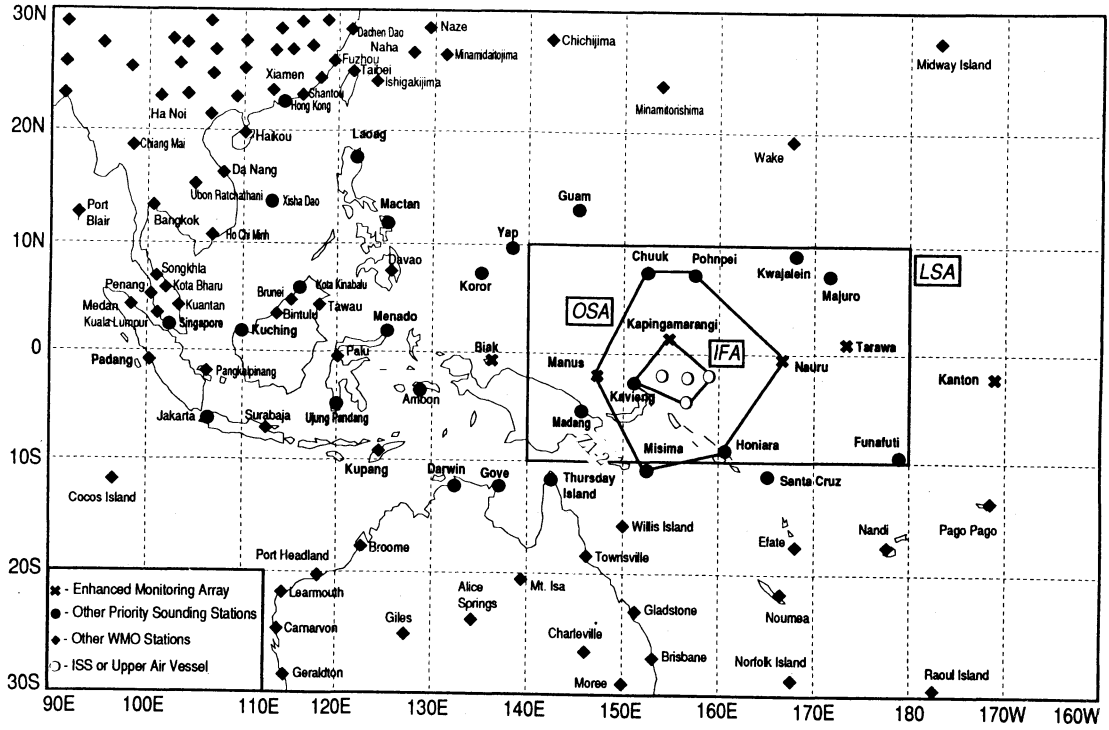
まず, IFA の場所であるが, 156°E , 2°S を中心とした地域が選ばれた. この理由は, 当初は, もう 10° 度東の 165°E を考えていたのだが, 観測船が足りないため妥協として, 島を利用することとしてこの地域が選ばれたのである.

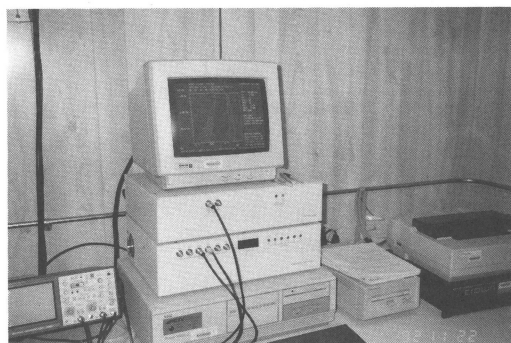
IFA の中心には, WHOI のブイが置かれ, その回りに細かなスケールで海洋観測のためのブイが設置された, 海洋観測, 及び, 乱流観測の観測船がその付近を動き回ることとなった. IFA の中に, ドップラーレーダーを搭載した船 (Vickers と Xiangyanghong 5) が置かれ, この地域での降水を中心に観測した. 気象庁の啓風丸も期間は11月の上旬であるが, 気象レーダーを用いて広域の降水観測を行った (第2図). その回りには, この計画のために開発された ISS が, 島や, 珊瑚礁, そして, 観測船上に展開された. ISS とは, オメガゾンデやウインドプロファイラーなどを組み合わせた観測装置 (第3図) で, 水収支・熱収支が計算できるようにになっている.

その外側では, WMO の協力のもとに高層観測が強化された. とくに, 風上側のインドネシアの高層観測が強化され, パダン, マダンなどの赤道に沿った地域の観測が強化された.

< 航空機による観測 >

この研究計画の一つの特徴は, 多数の航空機の集中, 及び, 航空機搭載のドップラーレーダーの活用によって, 様々なクラス (衛星で観測された放射温度 208 K 以下の領域の大きさによってクラス 0 からクラス 4 ま



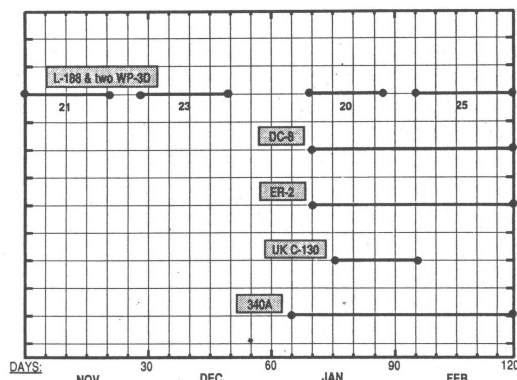


第3図 ISS の写真.

で分ける)の積雲対流, および, 大気-海洋相互作用を観測することであった. 参加した航空機の一覧は, 第4図に掲げてあるが, 最高で7機の航空機が総合的に積雲対流・大気-海洋相互作用を観測したことは初めての事である.

1.3 日本の計画

日本としては, 全体の国際的な研究計画に参加すると共に, 日本独自の計画をもって参加した. その基本的な目標は, 赤道域での大気・海洋の振舞いである. そのために, IOP における観測については, 東京大学海洋研究所の白鳳丸が文部省科学研究費補助金(創世的基礎研究費)「西太平洋における大気・海洋結合系のダイナミクスの観測(J-COARE)」によって1992年11月に, また海洋科学技術センターの「なつしま」が科学技術庁科学技術振興調整費「太平洋における大気・海洋変動と気候変動に関する国際共同研究(JAPACS)」によって1993年2月に, 156°E の赤道で観測に参加した. 西風バーストに対応した海洋混合層上部の応答, さらに, この西風バーストに伴うことが期待されるスーパークラスターの熱力学的構造を観測することを意識して, 観測船上で高層観測・乱流観測・MSP 観測・CTD 観測を行うと同時に, マヌス島(147°



第4図 TOGA-COARE に参加した飛行機のスケジュール.

E, 2°S) に, ドップラーレーダーを持込み, 雲物理観測・メソスケールの観測を行った. さらに, 熱帯全域の日変化に代表される早い時間スケールの変動を解析するために, GMS の毎時の赤外画像から衛星風を求めることも予定された.

さらに, 156°E, 赤道での海洋上層混合層の熱収支を行うために 156°E の 2°N と 2°S, 154°E の赤道に ADCP を係留し流速を観測した. 白鳳丸での放射観測・乱流観測・CTD 観測, そして, ATLAS による温度の観測を用いて熱収支が解析できればと考えている.

まとめてみると,

(1) 乱流スケールの大気-海洋相互作用

MSP 観測—金成(北大理), 古賀(琉球大海洋)

乱流観測—塚本(岡山大), 石田(神戸商船大), 藤谷(気研)

(2) 対流スケールの大気-海洋相互作用

マヌスでのレーダー観測—上田・遊馬(北大理),

竹内・遠藤(北大低温研), 藤吉(名大水圏研)

雲物理観測—高橋(九大理)

ADCP 係留—金子(広島大工), 稲葉(東海大海洋)

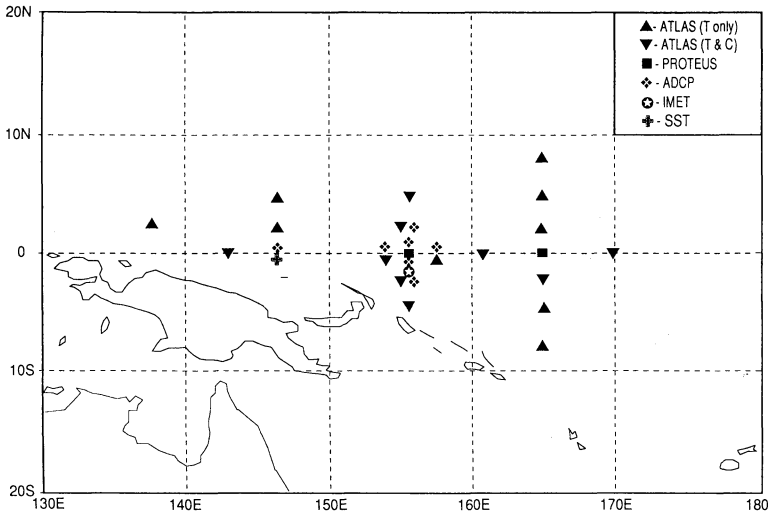
(3) ENSO スケールの大気-海洋相互作用

ATLAS 係留—竹内(北大低温研), 住(東大気候), 宗山(海技センター)

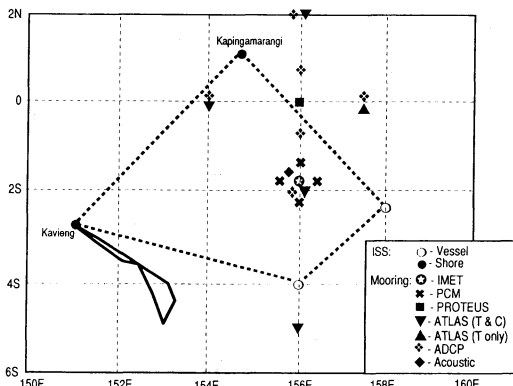
衛星—中沢(気象研), 高藪(環境研)

高層観測—中村・坪木(東大海洋研)

といった布陣で研究を行った. このほかに, 大学院生, 低温研・海洋研の技官の人々(三沢・北川・大井), 事務の人々(特に新プロの経理を担当した京大超高層の人)の世話になった. 厚く御礼申し上げる次第である.



第5図 COARE 大規模領域における係留系。



第6図 IFA (INTENSIVE FLUX ARRAY) における係留系の配置。

2. 海洋観測^{*2}

2.1 海洋観測の基本戦略

第1章に述べたように、COARE の一つの特徴は異なるスケール間の相互作用である。その為、大規模現象に粗い網をかけておいて、その中で小規模、微小規模現象の観測をする必要がある。海洋観測では、その粗い網として係留系のネットワークを用い、その中に IFA を設定している。IFA にはやはり係留系を密に設置し、その中心部で観測船が熱、運動量、水などのフラックスを観測する構造になっている。また、この IFA は赤道の特殊性を避けて設定してあるが、赤道での変動も興味を持たれるため日本の観測船がここを受

け持つ様になっている。

2.2 係留系ネットワーク

第5図に係留系の配置を示す。これは TOGA-TAO の一部であり、COARE に間に合うようにこの海域の計画を前倒し的に設置したものである。従って殆どの系に NOAA-PMEL が関わっている。しかし、TAO そのものの維持管理は国際的な協力で行われる事になっており、COARE の係留系の展開にもフランス、韓国、台湾、日本が貢献している。147°E に沿う係留系の線は日本の分担である。このような事情で、これらの係留系のほとんどは COARE 終了後も維持される。図中、三角のしるしは水温だけを測定する ATLAS とよばれるシステム、その内で下向きのものは COARE の為に塩分センサーを付けたものである。PROTEUS は海面ブイから下向きに ADCP (音響海流プロファイラー) をとりつけたもので、衛星を介しリアルタイムでデータの取得が可能である。

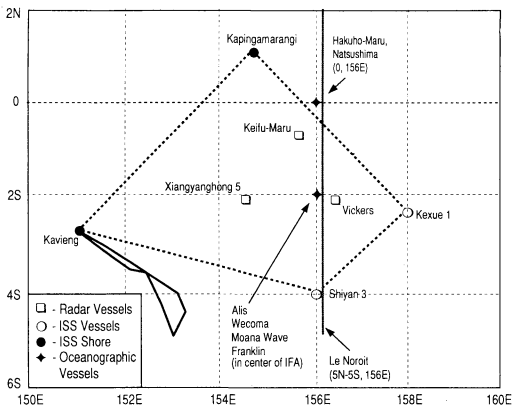
IFA における係留系を第6図に示す。中心になるのは IMET ブイで、船型の表層ブイを持つウッズホールの係留系で、海上気象と水温、塩分、流速を測定する。156°E の 2°S と 2°N の ADCP は九州大学と広島大学のグループが白鳳丸で設置、なつしまで回収した。154°E、赤道の ADCP は東海大学のもので設置は半年程早い、やはり同じなつしまの航海で回収されている。これらは海洋上層約 300 m の水平流速分布を観測し、少なくともデータが取れている事が確認されている。

^{*2} 竹内謙介

2.3 観測船について

6カ国、14隻の観測船がCOAREに参加している。第7図にその配置、第8図にスケジュールを示す。このうち、Vickers(ニュージーランド)、Xiangyanghong 5, Shiyang 3, Kexue 1(中国)はレーダーやゾンデ等、気象観測を主としている。これらの船は集中観測の期間の大部分をカバーしている。日本からは気象庁の啓風丸がレーダーとゾンデの観測を行った。

フランスのLe Noroitは156°E線に沿って南北5度の間をこの期間往復しながら観測し、この間、係留系の維持等も行っている。アメリカのWecomaと

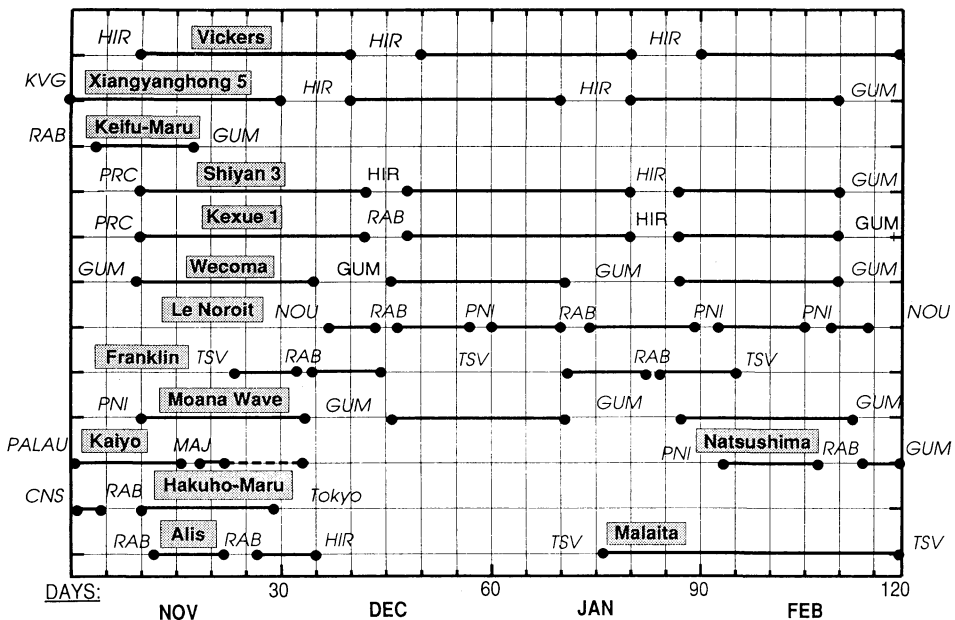


第7図 集中観測期間中の観測船の配置。

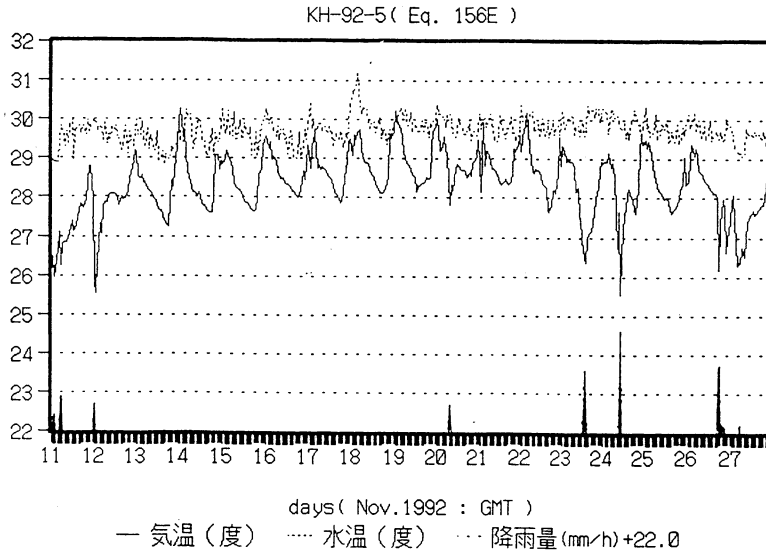
Moana Wave, オーストラリアの Franklin は COARE の中心的な観測、つまりフラックス観測に従事している。Moana Wave と Franklin はともに大気境界層と海洋表層混合層の乱流フラックスの観測機器を持っている。Moana Wave はほとんどの期間 IMET ブイの付近に陣取って観測を行っていたが、2月には丁度なつしまが観測していた赤道付近に現れ、1週間近く観測している。Franklin は動いている方が観測しやすいこともあって、バタフライパターンを描きながら海面近くの海水と同じように動きながらラグランジェ的な観測を中心にしたようだ。Wecoma は SEASOAR を曳航しながら、1辺 100 km から 200 km のバタフライパターンを繰り返す観測を行った。これは小さな空間スケール現象を抑え、熱や塩分の収支の計算に貢献することをねらいとしている。なにしろ、例えば降水に伴ってできる淡水のプール等の様にとの様な空間スケールの現象があるのか良く解っていないのが現状である。フランスの Alis は JGOFS の一環として化学の観測をしている。たった330排水トンの船で、これだけの期間海の真ん中に出かけていく勇氣に感心した。広島大学の金子教授がこの船の観測に参加している。

2.4 日本の観測船の定点観測

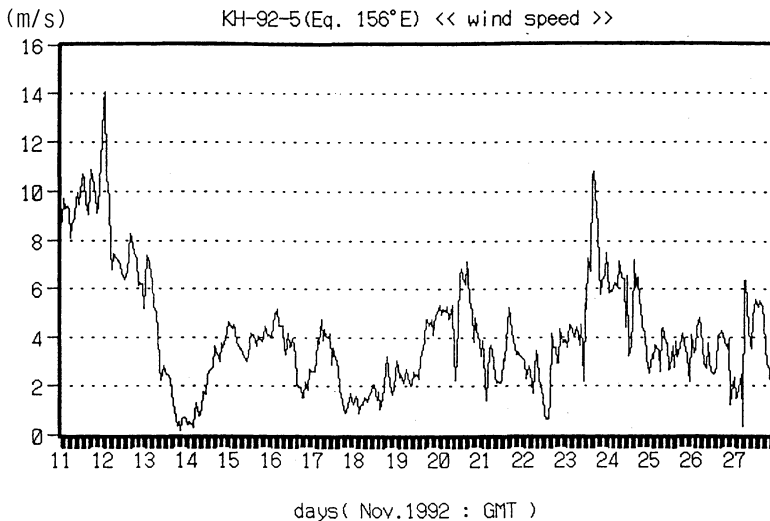
白鳳丸が1992年11月11～27日、なつしまが1993年2



第8図 COAREに参加した観測船のスケジュール。



第9図 白鳳丸定点観測中の気温, 水温, 降水量.

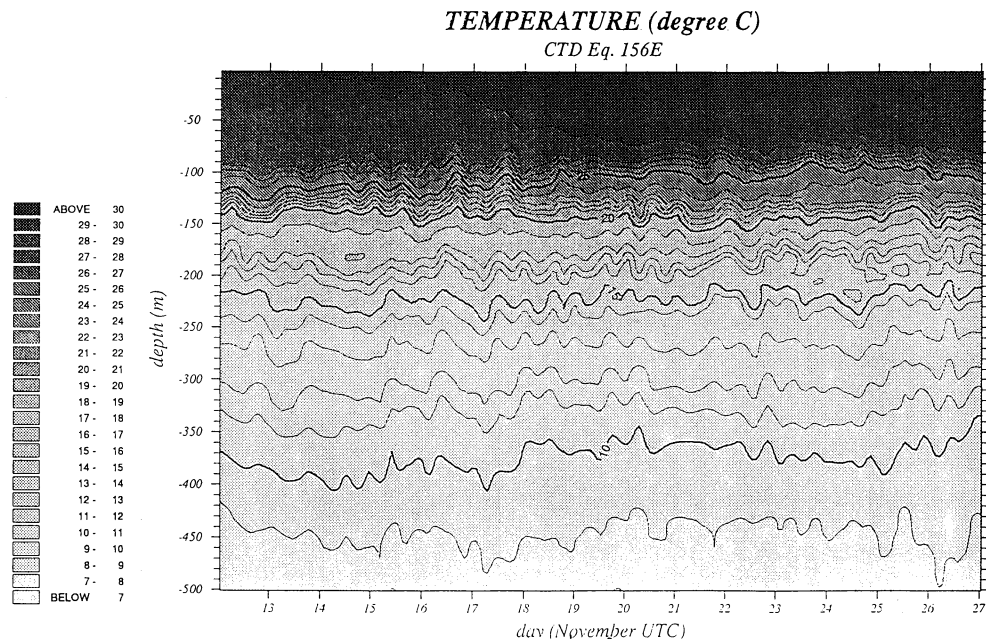


第10図 白鳳丸定点観測中の風速.

月5～14日に156°E, 赤道上で定点観測を行っている。ともに1日4回, 6時間毎にゾンデの放球, 大気乱流フラックス, 海洋乱流混合層, CTD を繰り返すルーティン観測を行った。白鳳丸ではこの間2回, それぞれ5日間, 1日8回観測する強化観測を行っている。また白鳳丸では1日1回はロゼット採水を2000 m まで行い, 酸素の他, フレオン等の測定も行っている。フレオンは殆どが大気起源であり, この分布が海洋の混合に何らかの情報をもたらしてくれる事を期待して

いる。

残念ながら, 西風バーストは見事に日本の観測体制をすり抜けてしまった。両船とも, 観測時は非常に静かな状態であった。エル・ニーニョが終息し, ほぼ平年に近い状況であったと言える。第9図に白鳳丸での集中観測期間中の気温, 海面水温, 降雨量を, 第10図に風速を示す。最初と最後にやや風が強く, 降雨もあったが, 全体的には静かな状態であった。第11図は同じ期間に観測された上層水温分布である。風が弱かった



第11図 白鳳丸定点観測中の海洋上層の水温分布の変化。

こともあり、混合層の厚さは減少し、水温は上昇している。しかし、降雨が殆ど無かったにも関わらず表層の塩分は減少傾向で、移流があった事を示している。幸いにして、日本の観測点のすぐそばに PROTEUS があり、上層の流速分布が得られる筈である。白鳳丸が連続的な分布を観測出来る ADCP を持たず、なつしまの ADCP が故障していた事もあり、貴重なデータである。

3. 境界層スケールの大気-海洋相互作用の観測^{*3}

3.1 COARE における境界層スケールの大気-海洋相互作用の観測

COARE の目的の最も重要なものは、西部太平洋赤道海域の warm pool における大気-海洋系の基本的な結合過程を理解することである。このため、研究計画の構成要素として interface component が設定され、具体的に以下の5つの研究目標が設定されている。

- ① warm pool におけるフラックスの質のよいデータセットを得ること。
- ② 低風速で対流活動が盛んな warm pool の交換過程の物理や熱力学の特徴を理解すること。
- ③ warm pool の熱収支を評価するために使用さ

れている各種経験式を改良すること。

④ 各種フラックスの時間・日・西風バースト時などの短期変動の大きさとその長期モデルへの影響を評価すること。

⑤ 定常的な貿易風から西風バーストまで、各種の状況が大気-海洋間のフラックスに及ぼす影響を評価すること。

これらの目標を達成するために、西部太平洋赤道海域において、大気-海洋相互作用の集中観測を行うことが計画された。特に、この観測計画においては、広範囲の気象・海象状況における大気-海洋間のフラックスを測定することが最も重要であると考えられている。

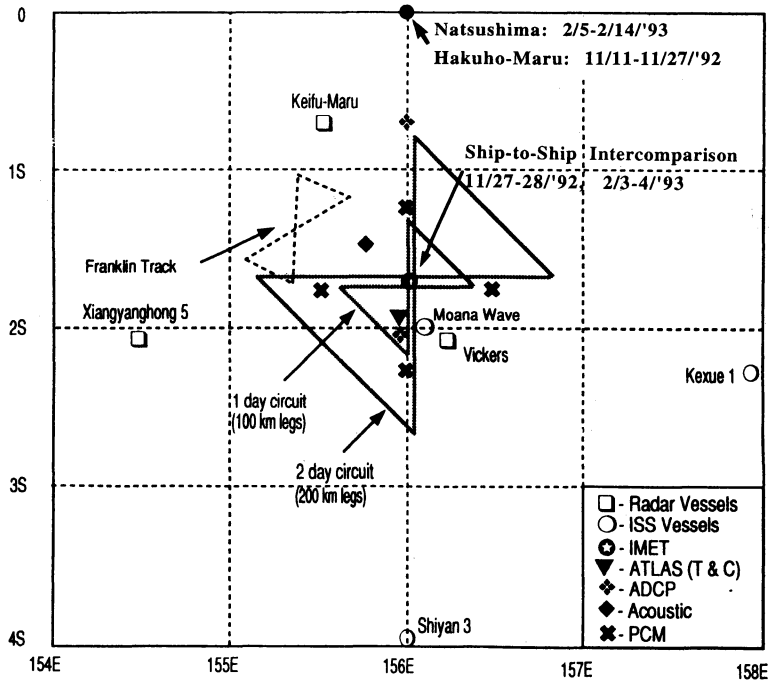
3.2 COARE-IOP における観測計画

3.1で述べた研究目標を達成するため、interface component は多くの観測で構成され、実行されている。ここでは主に、IOP の期間に IFA で行われた大気境界層関連の観測、特に渦相関法によるフラックスの直接測定に限って、各国の計画の概要を紹介する。日本の観測計画 (J-COARE) については次節で詳しく述べる。

(1) 観測船によるフラックスの直接測定

① R/V Franklin (オーストラリア: CSIRO)
船首ブーム (10 m) と船首マストに超音波風速計・紫外線湿度計を設置し、船体の運動は加速度計と GPS

^{*3} 藤谷徳之助



第12図 COARE の集中観測の海域。

で計測している。その他にブームにおいて純放射を測定している。Franklin の観測の特徴は、第12図に示すような形の測線 (butterfly patterns) で観測を行うことである。この測線の中心に漂流ブイが位置しており、ブイの運動に追従しながらラグランジェ的な観測を行う。

② R/V Moana Wave (アメリカ：ハワイ大学)

船首マストに超音波風速計・紫外線湿度計・熱線風速計・冷線温度計を設置し、船体運動はジャイロと加速度計で検出している。フラックスの算定には渦相関法と粘性消散法を併用している。

③ R/V Wecoma (アメリカ：オレゴン州立大学)

船首マストに超音波風速計を設置し、粘性消散法でフラックスを算出している。

④ その他

中国から参加した R/V Xiangyanghong 5・Kexue 1・Shiyan 3 の3隻にもフラックスを測定するための測器が搭載されていると計画書に記されているが詳細は不明である。

(2) 航空機による観測

① L-188 (アメリカ：NCAR)

② WP-3D (アメリカ：NOAA) 2機

③ C-130 (イギリス：MRF)

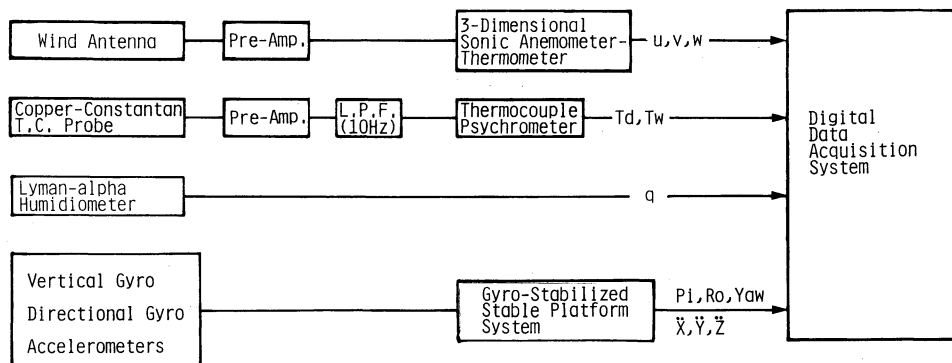
④ Cessna 340 (オーストラリア：フリンダース大学)

以上の5機にフラックス測定のための測器が設置されており、渦相関法によるフラックスの直接測定が実施されている。いずれの航空機も機体運動の計測には慣性航法装置・GPS を、気流の計測にはペーンやピトー式圧力計を、その他温度変動計、紫外線湿度計を搭載している。特に、湿度変動の測定には NCAR で開発された新型のものが①と②に使用されている。

3.3 J-COARE の観測計画

先に述べた COARE における interface component の目標を達成するためには、海洋上の境界層を通じて輸送される、運動量・顕熱・潜熱などの乱流フラックスを正確に測定する必要がある。動揺する観測船上で行う渦相関法 (Fujitani, 1985, 1992) が今回の観測にも適用され、白鳳丸・なつしまの両船とも 0°, 156°E の定点において、渦相関法によるフラックスの直接測定を行った。また後で詳しく述べるが、両船とも IFA の中心である 2°S, 156°E で、観測船を用いた渦相関法によるフラックス測定の国際比較に参加した。

(1) 「なつしま」における観測



第13図 「なつしま」における渦相関法観測のブロックダイアグラム。

① 一般海上気象観測：船舶気象観測指針に準拠して3時間毎に1日8回実施した。

② 高層気象観測：オメガゾンデを用いて3～6時間毎に1日4～8回実施した。

③ 気象要素の連続観測：風向（矢羽根式風向計）・風速（光電式3杯風速計）・気温（白金抵抗温度計）・湿度（誘電式湿度計）・雨量（容量型雨量計）・雨量強度（レーザー雨量計）・降水時間（ブリッジ型降水検出器）・気圧（ダイヤフラム型）・下向き日射量・下向き長波放射量などの気象要素を、要素別に10分毎、1分毎、あるいは1秒毎に連続記録した。

④ 渦相関法によるフラックスの直接測定：3次元超音波風速温度計と銅-コンスタンタン熱電対乾湿計および紫外線湿度計を前部マスト頂部に設置し、一方、船体運動の計測にはジャイロプラットフォームと加速度計を用いた船体運動計測装置を、船内上甲板の船体重心付近に設置して、角度3成分（ピッチ・ロール・ヨー）と加速度3成分の測定を行った。測定データは全て磁気テープに記録した。今回の観測では動揺測定装置を改良して観測精度の向上を計り、低風速域での乱流輸送過程の特徴を把握することを目標にしている。第13図に観測のブロックダイアグラムを示す。

①②③の3項目については、ミクロネシア連邦ポナペ出港からパプアニューギニア・ラバウル入港までの全期間（1993年2月1～19日）にわたって実施し、一方、④については、定点（0°、156°E）における停船観測の期間（2月5～14日）に3～6時間毎に1日4～8回実施した。また①②の2つの項目については、観測終了後直ちにインマルサット経由で気象庁宛通報を行った。

（2）白鳳丸における観測

① 気象要素の連続観測：自動気象計を使用して風

速・風向・気温・湿度・雨量・下向き日射量・下向き長波放射量の連続測定を行った。

② 高層気象観測：オメガゾンデを用いて3～6時間毎に1日4～8回実施した。

③ 渦相関法によるフラックスの直接測定：3次元超音波風速温度計・銅-コンスタンタン熱電対乾湿計・赤外線湿度計および赤外線二酸化炭素・水蒸気変動計を前部マスト頂部に設置し、一方、船体運動については白鳳丸に設置されている精密ジャイロの信号を記録した。

①②の2項目については、オーストラリア・ケアンズ出港から東京入港直前までの期間（1992年10月31日～12月7日）にわたって実施し、一方、③については、定点（0°、156°E）における停船観測の期間（11月11～27日）に3～6時間毎に1日4～8回実施した。②の項目については、観測終了後直ちにインマルサット経由で気象庁宛通報を行った。

「なつしま」の0°、156°Eの定点での観測中は、擾乱の通過にともなって10 m/s程度の風速になる場合が時々ある他は、風速は概ね4 m/s程度であり、2 m/s以下の静穏になる場合も時々あった。風向は期間の前半はNNWが多く、後半になってNEとなっている。気温は28°C前後の値を示しており、擾乱の通過に伴って26°C以下になる場合もあった。一方、海面水温はほぼ29°C付近の値を示していた。雲量は非常に多く、多くの場合に8以上である。また、観測期間の後半はスコールが比較的多く認められた。一方、白鳳丸の定点での観測期間中もあまり擾乱がなく、降雨も期間の最初と最後にややあった程度で、風も弱かった。

3.4 国際比較観測

海洋上で観測船を用いて渦相関法で乱流フラックスを直接測定することは、現在のところ我々を含めて数



第14図 「なつしま」と比較観測中の Franklin (手前) と Moana Wave.

グループで行われている程度であり、観測方法として定まった方法はない。今回の IOP においてこのような観測を行う日本・アメリカ・オーストラリアの研究者間で、観測されたフラックスの値の信頼性を高め、またフラックスの値の空間的な変動特性を見積るためにも、相互比較を行う必要があるということで意見が一致した。乱流フラックスの相互比較観測はこれまで陸上においては何度か行われているが、海上では初めての試みであり、事前の打ち合わせが1992年3月と6月にタウンズビルと東京で行われ、詳細な計画が立案された。

計画では、日本の観測船(白鳳丸、なつしま)が IFA 海域の中心である 156°E , 2°S に赴いて、オーストラリアの Franklin およびアメリカの Moana Wave の両観測船と共同で比較観測を行うこと、比較項目は、渦相関法によるフラックス・その他乱流統計量と、通常の測器による観測値などであることなどが決められた。海上での観測には天候が大きく影響し、また各船ともスケジュールが過密で、比較観測に割ける日数は1日程度と、その成否が心配されたが、比較観測期間中は海況もよく、特に大きなトラブルもなく順調に比較観測を実施することが出来た。

(1) 「なつしま」における比較観測

2月3日15時25分(以下時刻は船内時間: UTC+10時間)に IFA のほぼ中心に設置されている IMET ブイ ($1^{\circ}45'\text{S}$, 156°E : ウッズホール海洋研究所) 付近に到着し、Franklin, Moana Wave と比較観測を17時30分より開始した。3隻は IMET ブイの南側に位置し、北から Moana Wave, Franklin, なつしまの順に、各船

の間の距離を0.5海里に維持して、風上方向に約 3 kt で並走する形で航走した(第14図参照)。1回の観測時間を3時間とし、2月4日の17時30分まで5回実施した。ただし、Moana Wave は昼間は海洋混合層の乱流観測を停船状態で実施しているので、4日早朝までの参加となった。「なつしま」に設置されている最新レーダーシステムでは、各船の速度や方向や会合位置、会合時刻が実時間で表示されるので、比較観測の実施に当たっては非常に有効であった。

また、4日9時頃に Cessna 340が飛来して、観測船の上空で境界層観測を行った。

なお、Moana Wave とは 0° , 156°E の定点においても2月8~9日および2月10~11日の、いずれも夜間に限って比較観測を計4回実施した。観測の要領は前回と同様である。

(2) 白鳳丸における比較観測

11月27日20時~28日22時の期間に Moana Wave, Franklin と白鳳丸の間の相互比較観測が行われた。また、計画には無かったが、現場での呼びかけに応じてフランスの Alis も気象測器の比較観測に参加した。

11月28日2時に4隻は 156°E 線上に南北に1マイル間隔で並び、比較観測を開始した。4時間を1回として計5回の観測を実施した。基本的には毎回風上の方向にそれぞれの観測船が大気乱流観測に適した速度で航走した。白鳳丸は航走開始2時間後に停船、そこで MSP を行った後、原点に戻るパターンを繰り返した。Moana Wave は毎回 1.5 kt で3時間30分、Franklin, Alis はほぼ 5 kt で3時間、それぞれ航走した後に原点に戻るパターンを繰り返した。また、28日13時頃から17時頃にかけて2機の WP-3D が飛来して、観測船の上空で境界層観測を行った。

4. マヌス島におけるレーダー観測^{*4}

4.1 観測のねらい

赤道西太平洋域の雲の構造及び発生・発達過程の研究は、コリオリ力がほとんどない赤道域での積雲群の発生機構というメソ気象学の問題の解明はもちろん、気候変動に影響を与えるクラウドクラスターの形成機構、ひいては大気・海洋の相互作用のメカニズム解明のためにも重要である。これまで、赤道海上での気象ドップラーレーダーを用いた積乱雲の観測はほとんど行われていないので、TOGA-COARE の観測の一環

^{*4} 上田 博

として、パプアニューギニアのマヌス島 (147°E, 2°S) にドップラーレーダー 2 台を設置し、4 大学 1 国立試験研究機関から延べ21人の参加で、約 3 か月間にわたる長期の連続観測を行った。また、ドップラーレーダーの他に、雨量等の地上気象観測も行った。

観測の主目的は大気-海洋相互作用ということ念頭におきながら、積乱雲内の降水強度及び雲物理学上必要な 3 次元気流を求めることである。西太平洋赤道域の個々の積乱雲の構造の解析から、積雲群の形成機構、そして、よりラージスケールの現象の解明までをねらいとした。

4.2 観測方法

TOGA-COARE の集中観測期間内の、1992年11月始めから1993年1月末まで観測を行った。

第15図に観測地点の位置と、レーダー観測範囲を示す。ナブ (NABU) サイトに北海道大学理学部のドップラーレーダーを、モモテ (MOMOTE) 空港に北海道大学低温科学研究所のドップラーレーダーを設置した。また、雨量計等の種々の気象観測機器も設置した。

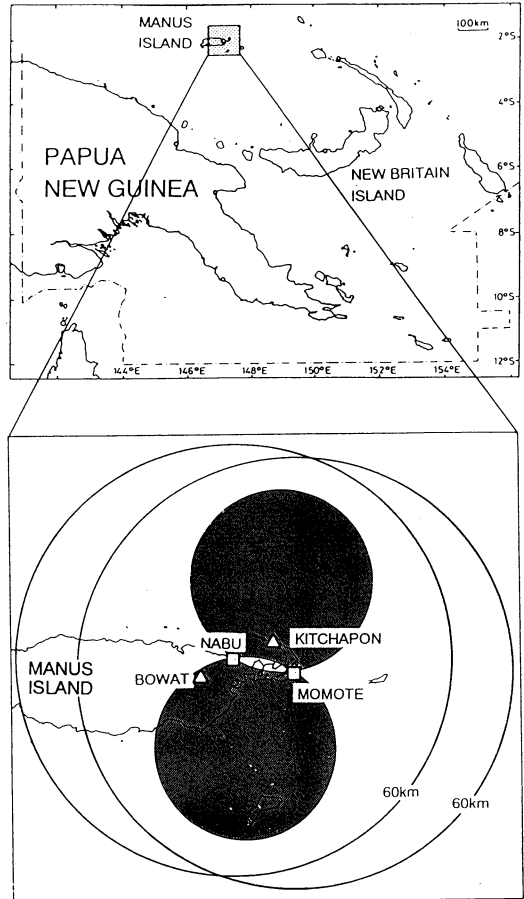
レーダーの観測範囲はそれぞれ半径 60 km であるが、2 台のドップラーレーダーによる 3 次元気流を解析できる範囲は、第15図の観測範囲円内の影を付けた部分に限られる。これは、観測点の制約から基線長が約 19 km と短くなったためである。しかし、通常、15 分間隔でボリュームスキャンを行い、長時間にわたるドップラーレーダーの連続データを取得した。

雨量計は、2 台のドップラーレーダーによる観測範囲内で、できるだけ陸の影響の少ない、KIT-CHAPON と山の中の BOWAT 及びナブのレーダーサイトに設置した。モモテ空港にはパプアニューギニア気象局マヌス測候所の自記雨量計が設置されている。

他に、放射計、微気圧計、超音波風速計等の地上気象測器も適宜設置した。更に、GMS (静止気象衛星) の受画装置をモモテ空港に設置し、雲の分布をモニターし、観測モードを検討した。

4.3 観測データ

マヌス島での取得データの一覧を第 2 表に示す。レーダーはできるだけ欠測のないよう観測体制を組んだが、停電や機械のトラブルなどで 2 台同時に観測できないこともあった。しかし、ほとんどの期間どちらか 1 台では観測できたので、降水強度に関する解析には非常に有効だと考えられる。地上気象データは観測期間が限られるがデジタルデータとして収録されている。



第15図 パプアニューギニアの地図とマヌス島に設置したレーダー等の観測網。ドップラーレーダーをナブサイト (NABU) とモモテ空港 (MOMOTE) に設置した。影の部分は2台のドップラーレーダーの解析範囲を示す。三角印は雨量のみの観測点である。

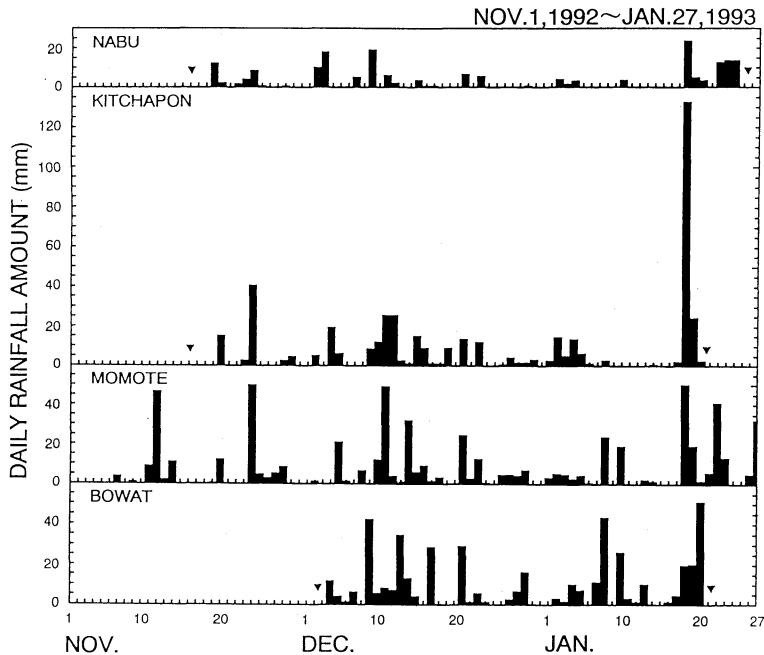
る。

マヌス測候所のデータはアナログ記録であるが、雨量と気温のデータをコピーしてきた。強力なデータとして、米国の ISS がモモテで連続稼働していたので、そのウインドプロファイラーとオメガゾンデのデータは比較解析に利用できるはずである。しかし、ゾンデデータのうち湿度データが1か月間不良であったのは残念であった。

取得データの一例として、4 地点での日降雨量変化を第16図に示す。モモテ空港では11月 158 mm, 12月 204 mm, 1月 (28日まで) 247 mm の月降雨量であり、平年より少な目であった。大きな場の変化にともなうクラスターの発生により、数日間降雨が続いて観測さ

第2表 マヌス島における観測項目.

観測機器	記録媒体	観測期間	設置場所
ドップラーレーダー (北大・理)	8 mm ビデオテープ	1992年11月12日 ～1993年1月24日	NABU
ドップラーレーダー (北大・低温研)	1600 BPI 磁気テープ	1992年11月19日 ～1993年1月21日	MOMOTE
転倒升型雨量計 (1)	データロガー	約2カ月間	NABU
転倒升型雨量計 (2)	データロガー	約2カ月間	KITCHAPON
転倒升型雨量計 (3)	データロガー	約1カ月半	BOWAT
放射計	フロッピーディスク	約1カ月間	MOMOTE
超音波風速計	フロッピーディスク	約1カ月間	MOMOTE
赤外線吸収型 水蒸気変動量計	フロッピーディスク	約1カ月間	MOMOTE
微気圧計	データロガー	約2カ月間	NABU
風向風速計	データロガー	約2カ月間	NABU



第16図 マヌス島での雨量観測の結果.

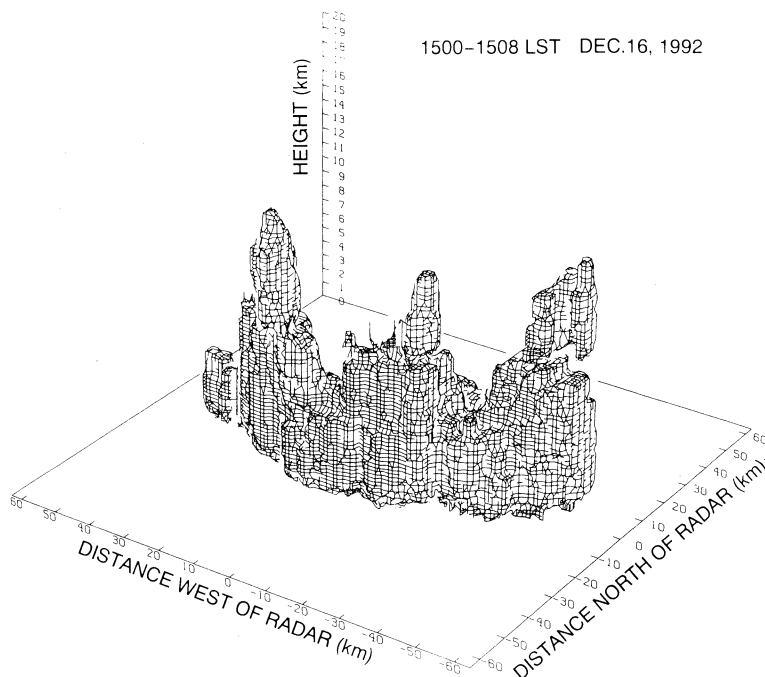
れる期間がみられる。また場所によって大きく日降雨量が異なるのは、海上で発生した対流セルがどこを通過するかによってその地点の雨量が変わると、BOWAT 地点のように島の中央部の山地では地形性の降雨が多いことを示していると考えられる。

次にレーダーエコーの例として、1992年12月16日15時00分～15時08分までのボリュームスキャンから求めたレーダー反射因子 (19 dBZ 以上) のエコーの3次元構造を第17図に示した。水平スケール 100 km 以上に

わたるライン状のエコーであり、エコートップは 16 km に達している。この他多数のケースのエコーの構造の解析が進められている。

4.4 解析計画

北海道大学理学部、北海道大学低温科学研究所及び名古屋大学のグループを中心に取得データの解析が進められている。今後観測参加者はもちろん、興味のある研究者の解析への参加が期待される。マヌス島での観測に参加した韓国の研究グループも比較解析のため



第17図 1992年12月16日15時00分～15時08分までのボリュームスキャンから求めたレーダー反射因子 (19 dBZ 以上) のエコーの3次元構造。

に、日本隊が取得したレーダーデータを解析に使用する予定になっている。

1994年度末をめどに、レーダー反射因子のメッシュデータを作成し、研究者への配布を検討している。

5. 雲物理観測^{*5}

5.1 降水機構研究の重要性

熱帯での水蒸気の凝結に伴う潜熱は大気大循環を駆動する原動力となる。ここでの凝結した水の2/3は降水として海に戻り、残り1/3が中緯度に輸送される。従ってこの熱帯での降雨効率は直接、世界の水循環に影響するという (Riehl and Simpson, 1979)。又水蒸気の凝結高度分布は熱帯の擾乱場に大きく影響を与える (Hartman *et al.* 1984)。降水による海水表面への淡水層形成は又海水表層の混合に大きく寄与することが示唆されている (Lukas and Lindstrom, 1991)。東南アジア、オーストラリアにかけたモンスーン域では世界の人口の半数が住み、水に社会生活が強く依存している。このように重要な熱帯の水について現在まで降水機構の組織的な研究が行われなかったことは不思議な

ことである。

熱帯域では大きさ数 100 km の雲群が発達する。降水機構の研究にはこれらの雲内での降水粒子の高度分布の知見が必要であろう。

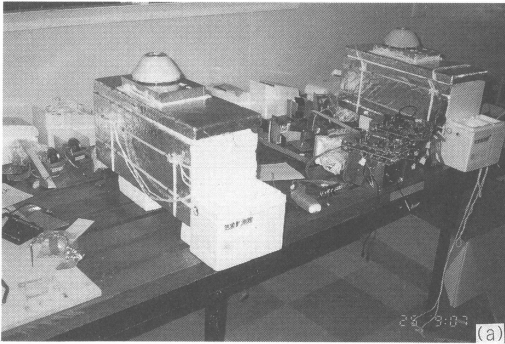
5.2 降水粒子ビデオゾンデ

降水粒子ビデオゾンデは降水粒子撮影部と電荷測定部から成る (Takahashi, 1990)。直径 0.5 mm より大きい粒子が赤外線束を遮るとフラッシュがたかれ、空中に止まった映像がビデオカメラで撮影され、1680 MHz の搬送波を変調、地上に送信される。地上では受信後、復調し、TV スクリーンでモニターすると同時にビデオテープに記録される。気温、気圧、湿度、電荷の情報はLEDを点滅させ、その情報もビデオカメラで映像と同時に撮影する (第18図a)。

5.3 観測

観測は TOGA-JCOARE 予備観測として1991年11月24日～12月5日、本観測では1992年11月20日～12月9日、パプアニューギニア・マヌス島 (2°S, 147°E) で行われた。地上には船舶用レーダ (X-バンド) と電場計が設置され (第18図b)。本観測では東京大学が設置した静止気象衛星 GMS-4 の受画装置が観測計画に大きく役立った。降水粒子ビデオゾンデは1991年には8

^{*5} 高橋 劭



第18図 (a) 降水粒子ビデオゾンデ。
(b) マヌス島での地上観測装置。左手前が受信機、右奥がX-バンドレーダ。

台、1992年には13台飛揚、このうち良好な結果が得られたものは1991年に5台、1992年に7台であった(第19図a, b, 第3表)。

5.4 主な結果

上層の“Dry Air”の分布でそれぞれ大きく異なった雲の系が発達、それぞれ特有な降水機構が観測された。

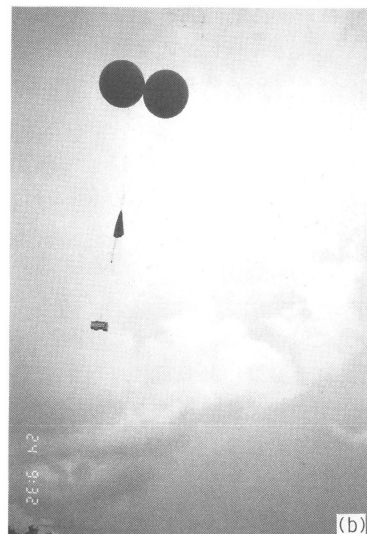
雲系を大別すると強い雨を降らすレインバンドと地雨性降雨をもたらす厚い層状雲であった。前者での主降水粒子は雨滴と凍結水で、Warm Rain型で成長した雨滴の凍結による降水強化が観測された。上層雲の発達する大きな雲のシステム内でのレインバンドでは下層の雨滴形成が弱まり、代わって上層での霰形成が促進された。北のITCZ上の雲の系と繋がり、更に大きい雲システム内の厚い層状雲では霰が多く観測され、初めて霰の雪片が観測された(第20図)。積乱雲からのカナトコ雲の降雪粒子分布と著しく異なるので、この厚い層状雲は今まで考えられているレインバンドの厚いカナトコ雲とは形成機構が違うかも知れない。

面白い発見は電が $+15^{\circ}\text{C}$ もの下層まで観測されることである(第20図b)。雨水は従って冷たく海水表面層に強い冷水域を作ることが考えられ、海水表面層混合に大きく関連するものと思われる。

6. 衛星による観測^{*6}

6.1 はじめに

今回の特別観測で衛星は非常に大きな役割を演じた



第19図 (a) マヌス島でのシャワー。
(b) 降水粒子ビデオゾンデ飛揚。

第3表 降水粒子ビデオゾンデ飛揚日時、雲と降水粒子の特徴.

1991 Nov. 24~Dec. 5

飛揚日時	ゾンデ番号	雲の系	特徴ある降水粒子
Nov. 27 0436	7	台風の Outer Band のうち細いレインバンド, 雷光	雨滴と大きい凍結水
Nov. 27 0846	5	台風の Outer Band のうち大きな雲群の前面 (対流域)	雨滴と小さい凍結水
Nov. 27 1219	8	上記雲群の後面 (層状域)	氷晶の大きな雪片
Dec. 2 1019	3	背の低い孤立積雲	雨滴のみ
Dec. 4 1934	9	マヌス島海岸で急に発達したレインバンド	雨滴と凍結水

1992 Nov. 20~Dec. 9

飛揚日時	ゾンデ番号	雲の系	特徴ある降水粒子
Nov. 24 0952	10	島上で急に発達した南東からのレインバンド, 雷	雨滴と凍結水
Nov. 24 1348	11	北東からのレインバンド	雨滴と凍結水 上層に氷晶と霰
Nov. 25 1845	7	西からの大きな積乱雲, 山岳性雷あり	霰 (上層) と 雨滴 (下層)
Nov. 27 1205	1	北西からの背の低いレインバンド	雨滴
Nov. 27 1906	12	厚い上層雲	霰の雪片
Nov. 28 0739	3	東からのレインバンド	雨滴と凍結水
Dec. 7 1748	2	南の積乱雲からのびたかなとこ雲	氷晶

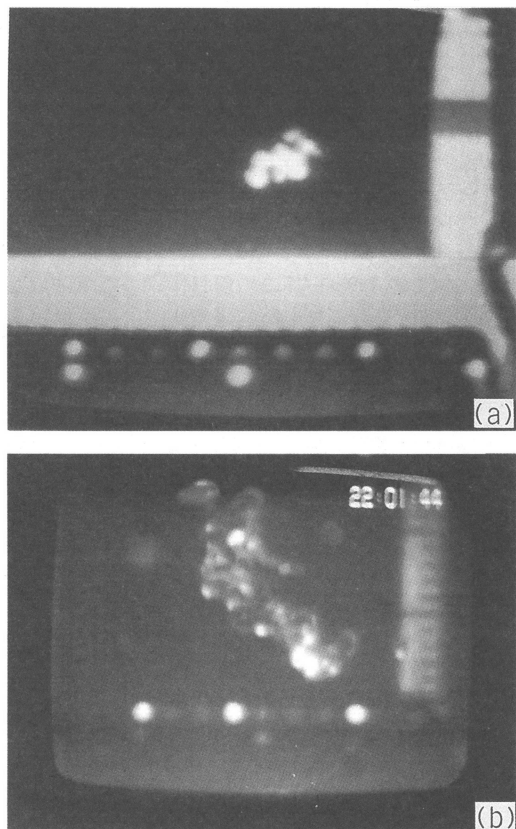
と言ってよい. GMS は対流活動の推移予測に大いにその威力を発揮したし, NOAA 極軌道衛星は熱帯海面水温の変動解析に用いられていた. DMSP 極軌道衛星は海上風速, 積分水蒸気量, 大気温度の推定に, ERS-1 は海上風 (風向風速), 波高, 波向, 波速, 海面水温などの推定に用いられるであろう. また TOPEX/POSEIDON の高度計から海面高度を推定することができるので, 「ENSO らしい」状態だった今回の特別観測期間中の海洋の変動を知ることができる. もちろん, これらの衛星からの測定は通常の観測データと比較してその妥当性が検証される必要があることは言うまでもないことであるが, 空間的に広い領域をカバーできる点で, 衛星観測を凌ぐものはないと言ってよい.

6.2 観測本部での GMS データ

オーストラリアのタウンズビルとガダルカナル島ホ

ニアラに置かれていた観測本部の主な仕事は, 高層観測, 航空機, 気象衛星, 観測船などさまざまなプラットフォーム間の調整作業だった. タウンズビルの観測本部では, 米国航空宇宙局 (NASA) の ER-2, DC-8, そして英国から C-130 の3機, またホニアラの観測本部の3機 (NCAR Electra と NOAA WP-3D 2機), さらにラバウルにオーストラリアのセスナ, 計7機の航空機がこの観測に参加していたが, これらの航空機による観測の調整は最も重要なものの一つだった. どのような強さと大きさを持った対流活動が IFA に達した場合に, どのような高度, 経路, 航空機を使って観測を行うかは事前にガイドラインが作成されていたが, タウンズビルの例を挙げれば, 最終的に「今日は観測を行う」という GO サインを出してから離陸するまでに3時間半, IFA まで2時間半かかるため, 結局6時間後の対流活動の予報がきちんとできないと予定した観測はできないことになる. この対流活動の予報

*6 中澤哲夫



第20図 (a) 厚い層状雲からの霰の雪片、
+2.4°C (11/27).
(b) レインバンド内の雹、
+15.8°C (11/24).

は大変むずかしいものだった。GMS のデータはオーストラリア気象局が受信し、そこから国際専用回線で米国ウィスコンシン大学の McIDAS に送られて処理され、タウンズビルとホニアラから毎時の衛星画像データにアクセスして任意領域の切り出し、拡大、ループ表示、ハードコピーが容易に行える環境にあった。赤道域での毎時画像をループで手軽に見ることができたことはわたしにとって大きな収穫であった。しかし、まったく対流活動のない領域で、突然数千キロにも及ぶ水平スケールを持った活発なクラウドクラスターが発生・発達することがしばしば見られ、6時間後の予報といっても困難な場合が多かったことは事実である。このシステムを用いて NOAA 極軌道衛星から推定された海面水温のマップも見ることができた。

6.3 GMS による詳細な風計算

気象研究所台風研究部では、科学技術庁の JAPACS

に参加し、第II期(平成2~4年度)において TOGA-COARE 特別観測と歩調を合わせた研究計画(「大気・海洋相互作用及び変動に関する観測・解析研究」の「静止気象衛星等の資料による大気・海洋変動と気候変動の解析研究」(主任研究者 村上勝人))を実施した。この研究は、熱帯太平洋を中心とする領域における大気-海洋相互作用を解明するうえで重要な役割を果たしている点で最近注目を集めている。西太平洋熱帯域における積雲対流活動と、それに伴う大気循環を同時に解析し、その相互作用を明らかにしようとするものであった。具体的には、GMS の毎時観測資料から、太平洋熱帯域での大規模積雲対流活動に伴う大気の流れ場を算出し、積雲対流活動と大気循環の相互作用を調べた。このため、衛星センターが現在現業的に用いている風計算プログラムを改造して、熱帯域(20°N~20°S)に限って TOGA-COARE 特別観測期間中の GMS の毎時観測資料を衛星センターより収集し、パターンマッチング法を用いた雲移動による風計算を実施して詳細な解析を行った。その結果から、30~60日周期の季節内変動に伴う大規模対流活動と循環場の様相が明瞭に示された。1992年12月下旬及び1993年2月上旬に東進しながら西太平洋赤道域に達した季節内変動の対流活動域は、対流圏下層のみならず、上層までも西風を伴う構造を持っていた。またどちらの時期においても、西太平洋赤道域においては、対流活動が先行し、その後下層西風が強化されていた。

今後解析すべき課題として、①季節内変動より時空間スケールの短いスーパークラスターや、数日周期の西進する擾乱に伴う循環場の詳細算出、②西太平洋国際集中観測期間に収集された各種の大気・海洋データを用いて、大規模対流活動や循環場以外の、水蒸気量、海面水温などの物理量の情報を加えた総合的な解析が必要である。

6.4 GMS-4 TOGA-COARE 領域毎時赤外画像 CD-ROM (GMS IR CD-ROM)

6.3で述べた JAPACS の研究計画に基づき、TOGA-COARE 特別観測期間中の GMS の画像を収めた CD-ROM が作成された。この GMS IR CD-ROM には、1992年11月1日01 UTC から1993年3月1日00 UTC までの毎時の静止気象衛星 GMS-4 の TOGA-COARE 領域(15°N~15°S, 130°E~180°)赤外画像が収められている。1つのファイルは、ヘッダー部(500バイト)とデータ部(150,000バイト)から成り立っていて、全体で150,500バイトの大きさを持っている。

ヘッダー部には、データの取得年月日時分、データの北西端緯経度、南東端緯経度などが書かれ、データ部は、東西方向に西から東に0.1°ごとに500点、南北方向に北から南に0.1°ごとに300点、合計150,000点のデータを含んでいる。したがって、データ部の最初のデータは、正確に言えば、15°N から 14.9°N, 130°E から 130.1°E の0.1°ボックス内の赤外放射データを表わしている。各点は1バイトで構成され、0 から255の値を持っており、その値に100を加えると、黒体放射温度(K)になる。ISO 9660 フォーマットで書かれているので、Mac, MS-DOS, UNIX などのマシンでデータを読むことが可能である。GMS IR CD-ROM は500枚作成された。その多くは JAPACS 参加者、TOGA-COARE 参加者の研究を効率的に進めてもらう手助けとして配付されたが、若干の余裕があるので、希望者は中澤(〒305 つくば市長峰1-1 気象研究所 0298-51-7111)まで連絡をされたい。

7. おわりに*

TOGA-COARE の概略を紹介してきた。容易に分かるように膨大な量のデータが得られている。残った大問題は、いかにしてこの膨大なデータを管理するか、と言う問題である。

今回のデータには、様々の種類のデータが存在する。各国の気象機関で行われているゾンデ観測はリアルタイムで通報されている。しかし、もう少し鉛直分解能を細かくしようとすると、データを収集しなければならなくなる。海洋のデータの多くは、検定という作業がある。そこで、現在、参加した全ての分野の人の理解が得られるようなデータ管理のシステムを考慮中である。

ただ、一つ言えることは、現在のワークステーションとネットワークの発展と言う状況の中で、データカタログと anonymous FTP という手法が使われてくるようになることであろう(沖, 1993)。

このようなデータ管理のシステムは、日本がもっとも遅れている所である。多くの人が満足するような体制にするためには、人手がかかる。しかし、このような分野にさける人員はほとんどないと言ってよい状況である。

しかし、嘆いていても仕方が無いわけで、どんなシステムも最初は不十分な状況の中で作られてきたので

ある。日本のデータ問題の解決の一助となるべく、実行可能なデータ管理の方法を考えてゆく予定である。

参考文献

- Bradley, E. F., P. A. Coppin and J. S. Godfrey, 1991 : Measurements of sensible and latent heat flux in the western equatorial Pacific Ocean, *J. Geophys. Res.*, **96**, Suppl., 3375-3389.
- 藤谷 徳之助, 1993 : 大気-海洋相互作用の観測的研究の発展, *月刊海洋*, Vol. **25**, 462-466.
- Fujitani, T., 1985 : Method of turbulent flux measurement on a ship by using a stable platform system, *Papers Met. and Geophys.*, **36**, 157-170.
- Fujitani, T., 1992 : Turbulent transport mechanism in the surface layer over the tropical ocean, *J. Met. Soc. Japan*, **70**, 795-811.
- Gent, P. R., 1991 : The heat budget of the TOGA-COARE domain in an ocean model, *J. Geophys. Res.*, **96**, Suppl., 3323-3330.
- Godfrey, J. S. and E. J. Lindstrom, 1989 : The heat budget of the western equatorial Pacific surface mixed layer, *J. Geophys. Res.*, **94**, 8007-8017.
- Hartman, D. L., H. H. Hendon and R. A. Houze, Jr., 1984 : Some implications of the mesoscale circulations in tropical cloud clusters for large scale dynamics and climate, *J. Atmos. Sci.*, **41**, 113-121.
- Hsiung, J., 1985 : Estimates of global meridional heat transport, *J. Phys. Oceanogr.*, **11**, 1405-1413.
- Lukas, R. and E. Lindstrom, 1991 : The mixed layer of the western equatorial Pacific ocean, *J. Geophys. Res.*, **96**, 3343-3357.
- Liu, W. T., B. Katsaros, and J. A. Businger, 1979 : Bulk parameterization of air-sea exchanges of heat and water vapor including the molecular constraints at the interface, *J. Atmos. Sci.*, **36**, 1722-1735.
- Miller, M. J., A. C. M. Beljaers and T. N. Palmer, 1992 : The sensitivity of the ECMWF model to the parameterization of evaporation from the tropical oceans, *J. Climate*, **5**, 418-434.
- 沖 理子, 1993 : TOGA-COARE DATA Catalog System の紹介, *OASIS Vol. 3*, No. 3, 13-20.
- Riehl, H. and J. Simpson, 1979 : The heat balance of the equatorial trough zone, revisited, *Atmos. Physics*, **52**, 287-304.
- Reed, R. K., 1985 : An estimate of the climatological heat fluxes over the Pacific Ocean, *J. Climate Appl. Met.*, **24**, 833-840.

*7 住 明正

Seager, R., S. E. Zebiak and M. A. Cane, 1988 : A model of the tropical Pacific sea surface temperature climatology, *J. Geophys. Res.*, **93**, 1265-1280.
Takahashi, T., 1990 : Near absence of lightning in torrential rainfall producing Micronesian thunderstorms. *Geophys. Res. Lett.*, **17**, 2381-2384.
WCP, 1983 : Interannual Variability of the Tropical

Oceans and the Global Atmosphere (TOGA), WCP-49, 55pp.
Weare, B. C., P. T. Strub and M. D. Samuel, 1981 : Annual mean surface heat fluxes in the tropical Pacific Ocean, *J. Phys. Oceanogr.*, **11**, 705-717.
Wyrтки, K. and G. Meyers, 1976 : The trade wind field over the Pacific Ocean, *J. Appl. Met.*, **15**, 698-704.

会員の広場

Xはシ，Qはチと読んでください—中国語音標文字

近年，気象界でも中国人の活躍はめざましく，中華人民共和国が定めたローマ字表記の地名や人名を英文論文でよく見かけるようになった。どう読んだらよいか迷うのがXとQである。日本人が読むばあい，Xはシ，Qはチと読めばよいだろう。中国語にはシに聞こえる子音がXとSHの2種類，チに聞こえる子音がJ，Q，ZH，CHの4種類もある。

なお中国人の名前は，漢字では姓・名の順に（姓・名の間をあけないで）記すが，英文では逆にして記すばあいと姓・名の順に記すばあいがあり，引用するとき姓と名を間違えることがあるので注意したい。

気象集誌編集委員会が出た話題です。

（気象研究所予報研究部 丸山健人）