

気候変動と海洋に関する研究の最近の動向 (2)*

—TSOM 研究会議 (東京, 1981) の報告**—

浅井 富雄***

1. はしがき

1~2週間程度の気候循環の変動の理解や天気予報の改善という限られた時間規模の問題には、海洋はそのごく表層を除いてほとんど関与しないが、気候を理解するためにはもっと広範な海洋現象のより深い理解が要求される。したがって、GARPがWCRPへ発展するとともに、海洋の果たす重要性が増大してきた。

気象学者はかねがね大気の世界気候監視 (World Weather Watch) に似た海洋のルーチン的なモニタリング計画を要望していたが、海洋学者の多くはそのような仕事に大きな力を注ぐのは得策ではないとしてきた。一方、WCRPに寄与する海洋モニタリングの国際的プログラムを策定すべしとの要請は、とりわけソ連から強く出された。すなわち、最近数年間、ソ連はWMO, IOC, SCOR, JOC/GARP, JSC/WCRPなどの政府および学術関係国際組織に、繰り返しそのような提案をしている。JOCとSCORは共催で1978年11月 Kiel で専門家会議を開き、ソ連提案のようなプログラムの開始を国際的に呼びかける機は未だ熟していないが、海洋モニタリング計画はいずれWCPの構成要素として重要になるであろうと結論し、Pilot Ocean Monitoring Study (略称 POMS) を提案した。それを受けて、JOCとSCORは1979年10月 Miami で POMS 研究会議を開いた (浅井, 1980)。POMS 研究会議は、海洋モニタリングは窮極的にはルーチン観測となるべきであり、現実には、各国が種々の目的のもとでルーチン的に長期間観測を継続してきたことを認めた。そしてこれら時系列資料の取得・解析・解釈

などについての検討は POMS を設計するために貴重な知見を提供するであろうこと、またこのような時系列資料は通常の研究観測と異なり、data report 以外に成果をまとめて発表することなく埋蔵されがちであるので、このような検討会は時系列資料から得られた成果をまとめて発表する刺激を与えるであろうことなどを考慮して、海洋時系列観測資料に関する Workshop を組織することを JOC と CCCO に勧告した。この勧告は WMO 執行委でも支持され、JSC (1980年1月 JOC は解消し、JSC が発足) と CCCO は 1980年10月 Oban で上記研究会を組織するための準備会を開いた。このような経過で、1981年5月東京で JSC と CCCO 共催の Time Series of Ocean Measurements 研究会議 (TSOM) が開催されることになった。したがって、本会議の目的は海洋時系列観測資料の現状を把握し、その解析・解釈について検討し、将来の海洋モニタリング計画について JSC と CCCO に勧告することである。

1980年3月、Döös 教授 (JSC) から本会議を日本で開催することについて打診を受けたわが国は、GARP 分科会がホストとなり、JSC の一部援助を得て東京で開く用意のある旨回答した。1980年4月、日本学術会議国際協力事業特別委員会 GARP 分科会 (1981年4月から WCRP 分科会) 付置世界気候プログラム海洋データ作業小委員会 (浅井富雄 委員長、岸保勘三郎、庄司大太郎、寺本俊彦、鳥羽良明、安井正、山元龍三郎、遠藤昌宏) が設置され、WCP 海洋モニタリング国内計画の立案と上記会議開催の準備にあたることとなった。1980年8月、JSC から正式に東京開催についての要請を受け、上記小委員に楠宏 (極地研) を加えて local organizing committee を発足させ、日本気象学会、日本海洋学会、海洋気象学会の後援、海上保安庁水路部講堂を会場として5月11~15日の5日間にわたって研究会議が開かれることとなった。R. W. Stewart が議長をつと

* Recent progress in studies of climatic changes and the ocean (2).

** A Report of JSC/CCCO Meeting on Time Series of Ocean Measurements, Tokyo, 11-15 May, 1981.

*** Tomio Asai, 東京大学海洋研究所.

第1表 海洋熱輸送の直接評価.

	緯度	北向き熱輸送 ($\times 10^{15}W$)	
北大西洋	59°	-0	Wunsch (1980)
	53°	+1	Wunsch (1980)
	48°	+1	Wunsch (1980)
	40°	-0	Bryan (1962)
		.6	Wunsch (1980)
	36°	.7	Bryan (1962)
		.8	Roemmich (1980)
	32°	.7	Wunsch (1980)
	25°	1.1	Bryden and Hall (1980)
		1.2	Wunsch (1980), Roemmich (1980), Hall and Bryden (1981)
南大西洋	32°S	.2, .7	Bennett (1978)
		.7, .9	Fu (1981)
	28°	.8, .8	Fu (1981)
	24°	.3	Bryan (1962)
		.3, .5, .6	Bennett (1978)
		.4, .6	Fu (1981)
	21°	.5, .5	Fu (1981)
	16°	.6, 1.2	Bryan (1962)
		.6, .8	Fu (1981)
	15°	.9, .9	Fu (1981)
	.1, .2, .4, .4	Fu (1981)	
南インド洋	32°S	.5, .6, 1.6, 1.6, 1.8	Bennett (1978)
北太平洋	32°N	-1.1	Bryan (1962)
南太平洋	43°S	-1, .3, .4	Bennett (1978)
		-1	Roemmich (1981)
	28°	-1.2, -.6, -.2	Bennett (1978)
		-2	Roemmich (1981)
	測線	東向き輸送 ($\times 10^{15}W$)	(アフリカの南の測線での東向き輸送を 基準とした)
南極周極流域	ドレイク海峡	.3	Georgi and Toole (1981)
	アフリカの南	.0	Georgi and Toole (1981)
	ニュージーランドの南	.6	Georgi and Toole (1981)

め、参加者は10カ国から約50名であった。

2. 科学的背景

気候と気候変動における海洋の役割を理解するのに重要な5課題(1)海洋による熱輸送,(2)大気・海洋相互作用,(3)海洋大循環,(4)赤道域海洋の力学,(5)極地海洋と海氷についてそれぞれ, H. Bryden; V. Dymnikov, G. Kurbatkin, I. Trosnikov; A. Sarkysian; D. Anderson; P. Killworth らにより問題点, 長期海洋

モニタリングの必要性・方法などが報告された。

2.1. 海洋による熱輸送

これまで海洋による熱の南北輸送の評価は主に(1)海面を通しての放射・顕熱・潜熱流束の高緯度側への面積積分と(2)全地球熱収支と大気熱収支の差として求める間接法に基づいていた。それらの結果には互に大きな差異があり, 特に最近の評価は低緯度帯で熱の極向き輸送における海洋の相対的重要性が示唆されている。一方, 海洋における流速と水温の観測から, 海洋による熱輸

送を直接評価することに大きな進展が見られた(第1表参照)。

直接測定は大西洋の 25°N を横切る熱評価について最もうまくいっているようで、 1.2×10^{15} watt という値はかなり信頼できそうである(Bryden and Hall, 1980; Roemmich, 1980; Wunsch, 1980)。このような亜熱帯海域では、渦熱輸送が小さいので、(1) 測線に沿う通常の BT, CTD 観測より海洋内部での地衡流、(2) 上層での非地衡流 Ekman 輸送を評価するための風のストレス、(3) 比較的上層の強流帯での流速と温度などの観測が熱輸送量の評価に用いられる。これまでのところ最善と思われる大西洋 25°N での熱輸送量の直接評価ですら、フロリダ海峡を通る年平均流、年平均風ストレス、1957年10月1回の測線海洋観測などに基づいているから信頼度に大きな限界がある。最近の間接評価(Oort and Vonder Haar, 1976)によれば、季節変化の振幅は年平均値と同程度であることを示している。一方、資料は少ないが Hall と Bryden (1981) の直接評価によると、季節変化は 0.3×10^{15} watt 以上にはならない。もっと以前、Bryan (1962), Bennett (1978) らによってなされた直接評価は、西岸境界流による質量輸送は風の stress curl から得られる外洋 Sverdrup 輸送と平衡するという仮定に依存しているため、信頼性は低い。inverse 法に基づく最近の直接評価、Roemmich (1980, 1981), Wunsch (1980), Fu (1981) などの値を用いると次のような問題が浮かびあがる。すなわち相対的に小さい北大西洋が大きな極向き熱輸送、大きな南太平洋が小さな熱輸送を示すこと、南大西洋では赤道向き熱輸送、大西洋と太平洋は正味熱を失い、インド洋は獲得しているのか? など、今後の調査に待たなければならない。海洋熱輸送の直接評価は困難な測定を要するけれども、熱が運ばれる過程、すなわち(1)鉛直子午面循環(2)水平循環(3)各種の渦輸送などの機構の解明に寄与し、また精度の向上も期待できる。

以上の考察に基づいて、Bryden は次のように勧告をまとめた。全球的な熱収支における海洋の役割を研究する計画の目標は(1)太平洋では 25°N を横切る海洋熱輸送の直接評価をすること、(2)大西洋では 25°N を横切る海洋熱輸送の季節変化を決定すること、(3)海洋熱輸送の機構の1つとしての渦熱輸送の寄与を評価すること、(4)南太平洋と南大西洋における海洋熱輸送の直接評価をすること、である。そのために必要な新しい観測は黒潮、湾流、ブラジル海流、東オーストラリア海流

での流速・水温の長期測定、太平洋 25°N に沿う海洋観測、バハマ群島沖とカナリー群島沖のいずれかの側の測線の時系列、湾流・黒潮・南極周極流など強流域での係留測流・測温の時系列などである。このような直接評価と併行して海洋熱輸送の間接評価を改善することも大切である。とりわけ、大西洋で Bunker (1976) がやったような海-気熱交換の評価が太平洋やインド洋でもなされるべきであり、それによって緯度の関数として海洋熱輸送の間接評価がなされる。また、南半球における大気熱輸送の評価を改善し、それによって南半球海洋熱輸送の間接評価を可能にする。

上述のような直接測定で得られる海洋熱輸送の評価は、海洋大循環モデルをテストし改善することにも役立つであろう。

2.2. 大規模大気・海洋相互作用

V. Dymnikov, G. Kurbatkin, I. Trosnikov らソ連グループは、主に中緯度帯で大規模大気運動に及ぼす海洋の影響について述べた。

(1) 大陸東岸沖は湾流や黒潮などの暖流域でもあり、海洋から大気への顕熱・潜熱輸送が盛んであるのみならず、大気中での有効位置エネルギーから運動エネルギーへの転換も活発な海域である。

(2) 大気に及ぼす海洋の影響を考えると、planetary-scale と synoptic-scale の過程を区別することが重要である。冬期中緯度帯で、海洋は planetary-scale の波動に対して生成よりは消滅に寄与し、一方、synoptic-scale の波動に対して生成の役割を果たす。夏期、海洋の役割はもっと活発になる。

(3) 気候変動に関する大気・海洋相互作用の物理機構を考察する際、最も効果的手段は大気・海洋結合数値モデリングである。この線に沿って、摂動論ではあるが、Marchuk (1975) の方法は有望である。

これまでのところ、海面温度の変動に対する大循環モデルの敏感度実験は明確な解答を与えていない。要するに大気・海洋相互作用についての多くの問題は未解決であるので、大気・海洋の組織的観測が必要である。しかし、現在世界の海洋全体を観測することは不可能であるから、energetically active zones における集中観測を実施することが望まれる。

2.3. 大規模循環のモニタリング

大気・海洋相互作用を含む大循環モデルによる長期天気予報、短期気候変動の研究が世界のいくつかの機関でなされている。これらは気圏・水圏・雪氷圏相互作用の

特性のある面を正しく記述しているが、現在のところ計算機能力の限界、観測資料の不足、ある過程のパラメタリゼーションの困難性などの障害がある。他のもう1つのアプローチは診断的方法で、一口で言えば既存の資料をモデルに同化させることである。その最も簡単な一例は、比較的大量にある密度分布の情報から極めて資料の少ない流速場を算出するモデルである。Sarkysian は多年にわたり、このようなアイデアで診断的方法を開発し実験を試みてきた。その結果、既存のすべての海洋資料を用いて海洋の温度場と流速場の、したがってまた熱移流のアノマリの“model monitoring”を実施することが可能であると結論している。これはまた、大気・海洋相互作用を含むモデルに対する海洋の必要な初期条件や気候データを与えることになる。現在、ソ連、西独、米国の研究者が協力して水平に 1° 格子、鉛直には30レベルで4季について流速場を算定しており、将来、毎月の平均状態も求めようとしている。しかしながら、上記の考えを世界の海洋に適用すると遭遇する困難な問題は海洋における深層の観測が非常に乏しく、かつランダムであるということである。既存のXBT測線や、各国の研究観測でも“model monitoring”のための4次元解析に、とりわけ世界海洋に対して不適當である。たとえある海域でも、定期的深層海洋観測をすることの重要性が指摘された。ソ連のPOLYGON実験やソ連・米国のPOLYMODE実験の経験から、そのような観測は個々の測線ではなく、有意義な試験海域でなされるべきである。一方、定期的な、少なくとも各季節に1度の観測が最大効率をあげ得るように海域の選択を行なうべきである。この要請を満たす海域は、いわゆる“energetically active zone”であり、年4回観測を数年継続することによって4次元解析を使用することができ、季節的熱移流アノマリを監視できる。ノイズをフィルターすることによって、このような観測結果は海洋の長期予報モデルをテストし、改善するのに有用となるであろう。

2.4. 赤道海洋力学

赤道域の海洋の変動は数カ月～数カ年の時間規模の気候変動に重要な役割を果たしていることを示唆する証拠が得られている。(1)太平洋における風と海面水位(Wyrtki, Meyers, Busulacci and O'Brien), (2)米国西岸沿いの海面水位変化(Enfield, Allen and Wyrtki), (3)大西洋におけるギニア湾の海面水温とブラジルの風のストレスとの相関(Servain, Picaut and Merle)など、観測資料の注意深い解析によって赤道海洋力学のい

くつかの側面が明らかになりつつある。熱帯海洋の海面水温アノマリの形成は風の場の変化と関係が深いとして、D. Anderson は風に応答する流れ、応答力の非対称性、ケルビン波、プラネタリ波などによる波動伝播、深層赤道海流などにふれた。

(1)と(3)では、船の観測資料、主として航路に沿った海面の資料が用いられた。これらの資料は有用ではあるが、空間的分布が欠けているため、その資料に月平均操作を加えると伝播特性の検出が困難になり、もっと長期の時系列資料が必要となる。それにもかかわらず、表層の循環の一部が次第に明らかになってきたが、100m深ともなれば観測資料は急減し状況は悪化する。応答の多くは表層(surface layer)であるけれども、subsurfaceの状態も重要となりそうである。例えば、El Nino年には、沿岸湧昇は少なくとも平年におけるより強いらしい。それにもかかわらず、海面温度が低下しない理由はsubsurfaceの温度成層が変り湧昇水がより暖いからである。同様なことは赤道大西洋でも起っている。しかしながら、subsurfaceの観測網は赤道沿いのみならず沿岸域でも貧弱であるから、モデルや理論と観測の間の定量的比較をするためには、(i)十分な精度で衛星から得られる風のストレス分布(ii)深さ400mまでのsubsurfaceの観測が必要となる。

赤道沿いの観測はそれ自体有用であるが、いくつかの経度での南北断面—例えば東太平洋でのINOCARやIMARPE、西太平洋の 137°E の日本のものなど—があればもっと有効である。モデリングのためには流速測定はより有用である。したがって、高価であるが、いくつかの係留測流が必要であり、それはまた、衛星アルティメータ資料の適用性を増すことにも役立つであろう。

2.5. 極域海洋と海水

P. Killworth は気候に対する極域の関与について簡単に述べた後、世界海洋における深い対流域を概観した。2つの異なる型の対流が存在し、第1の型の対流は古くから知られているように大陸棚斜面で起こる沈降であり、南極大陸沿岸の各地で見られるものによって代表される。海氷の凍結とそれによって生ずる塩分濃度の高い海水の排出は大陸棚上に高濃度塩分水を形成し、コリオリ力、重力、摩擦力の平衡のもとで斜面を降下し、その途中まわりの暖い深層水をエントレインする。第2の型は比較的最近観測された外洋の対流である。それは地中海、ラブラドル海、ウェデル環流中の2カ所などのような海域で起こり、また、グリーンランド海でも起こるで

あろうと推測されている。外洋の対流はこれらの海域すべてについて多くの類似性をもっている。すなわち20~50 kmの狭い海域で起こること、約 $10^6 \text{m}^3 \text{s}^{-1}$ の深層水を形成すること、反時計回りの平均循環の海域でのみ起こること、平均循環には複数の水塊が含まれていること、先行条件が必要らしいこと、表面での外力(冷却あるいは海水形成)が必要であること、水塊の激しい破壊が2週間の時間規模で頻繁に起こることなどである。

海面(気-海/氷と氷-海の両方)での輸送の正確な測定が重要であり、また、低温のとき海水密度は塩分濃度に大きく依存するので降水は大切な要素である。

3. 海洋時系列観測資料

各国・各海域での既存の時系列資料とそれに基づく研究成果が、それぞれ S. Tabata, D. Chelton, 長坂と二谷, J. R. Donguy, K. Wyrki, J. Smed, Y. Tarbeev, D. J. Ellett, T. H. Rossby, D. J. Baker らによって報告された。湾流と黒潮域、バレンツ海とノルウェー海、カナダ太平洋岸の“Papa”, カリフォルニア沿岸域、ファロスーシェトランド海峡、赤道太平洋、ドレイク海峡などにおける観測がとりわけ重要資料とされた。それらには海洋断面観測から島の水位観測にいたるまで様々の測定が含まれている。

長期にわたる海洋観測資料は乏しいので現存する上記のものは貴重であり、その価値は長くなる程、急激に増す。海洋のモニタリング系を設計するのに測定する S/N 比の知識が必要となるが、それは長期観測資料からのみ算定され得る。したがって、以下に述べる例のように、質のよい長期観測を維持することが非常に重要である。

(1) Weather ships

気象観測船から得られる気象・海洋両者の資料は海・気相互作用、長期の貯熱量の研究に不可欠であり、日~季節の時間規模で海洋混合層モデルをテストする唯一の機会を提供する。これらの資料なしに海洋混合層モデルは今日の水準まで発達しなかったであろう。

(2) 北大西洋北部の時系列資料

過去20~100年に及ぶ当海域の資料は、水塊の空間的に関連した大きな変化を示すことができる。例えば、数年のスケールで激しく変動するラブラドル海の深い対流

(Lazier, 1980) や、1965-1974の期間北大西洋の亜寒帯中層水の影響の増大は、ともにグリーンランド沖の異常な北風に関係づけられる。また ICES* により収集された長期の資料は気候研究に広く用いられた。ICES が調整した MONA (Monitoring the Overflow into the North Atlantic) 計画がグリーンランド-スコットランドリッジ域に海底近くの流れや温度の長期観測点を設けている。

(3) 赤道太平洋の海水温の時系列資料

日本やフランスが実施している定線観測や商船・漁船から得られた水温鉛直分布は Southern Oscillation (El Nino) と結びついた温度構造のゆっくり変る大規模変動に関する情報を提供した。その情報は貯熱量アノマリの形成・維持やそのアノマリの西太平洋の長周期変動する風のアノマリに対する応答を示すのに不可欠であった。これらの観測資料は El Nino を研究するために設計された太平洋の数値モデルのテストにすでに用いられている。

(4) ドレイク海峡における流速測定

ISOS (International Southern Ocean Studies) 計画の一部として1975年以来、ドレイク海峡で水温、流速、海底圧力などの測定が実施されてきた。ここは南半球の海洋の大規模な海候の指標を与える大切な場所であり、その観測は継続されるべきである。

(5) バミューダ時系列資料

Bermuda Panulius の時系列資料は、海候に関する島の観測の有力さを示す優れた例で、1954年以来、2カ月毎に海洋観測資料がとられてきた。最初の10年間の資料はサルガッソー海の物理・化学・生物学的性質の季節変化の解析に用いられた。15年後に気候変化傾向が浮かび始め、現在、10年オーダーでの水塊特性の変動が明らかである。最近、これらの資料は等密度面に沿う輸送モデルや海洋に持ち込まれる PCB や微量金属を研究するための新しい技術を評価するのに用いられ始めた。

(6) Weather Ship “Papa” での観測

北大太平洋にある定点“Papa”およびカナダ西岸と定点を結ぶ定線での観測資料は、数年から数十年にわたるこの海域の温度躍層の大きな変動の記録を提供している。海洋混合層の数値モデル研究の根拠を与え、衛星観測に対する sea truth ともなっている。とりわけ代表的な資料として、定点では海面温度(1950-1980)と1000mまでの海洋上層における水温、塩分、酸素溶存量(1956-1978)、定線では海面温度(1950年12月~)、塩分(1959年1月~)などがあげられる。

* The International Council for the Exploration of the Sea の略称である。1902年に設置され、北大西洋北東部、北海、バルチック海の海洋モニタリングを続けてきた。

(7) ノルウェー海とバレンツ海におけるソ連の定線観測

バレンツ海, ノルウェー海および北大西洋で, いわゆる標準セクションに沿って海洋観測が長年ソ連によって実施されてきた。現存する最長の時系列の1つは1900年以来維持されている kola 子午線セクションである。その観測資料は気候の研究に広く用いられてきたが, 北極海への熱輸送の非常に重要な指標を与え, また, モデルで見出された高緯度帯の気候に対する敏感さも長期の自然気候変動の記録に認められている。

(8) カリフォルニア海流系における時系列資料

Cal COFI (California Co-operative Fisheries Investigation) で得られた長期の物理的・生物学的観測資料は数年の規模の気候変動を示している。カリフォルニア海流の物理特性, 特に流れの変化はその生態系に影響を及ぼす。

(9) 水位観測資料

水位の観測資料は最も長期の記録を提供することができ, low pass フィルターで半日潮, 一日潮などの影響を除去しておくとその低周波信号から気候変動の情報を検出することが可能となる。しかしながら, これら時系列資料から有意な結果を抽出するには, 多くの補助的観測とりわけ, 海面気圧, 海面温度, 塩分, 風などの測定をあわせて行なうことが大切である。これらの観測は因果関係を理解するのに重要であり, しかも比較的安価かつ簡単にできる。水位計設置点のその沿岸海域における代表性を最大限確保するため, 局地的影響の情報も獲得しておくべきである。

なお, 定点あるいは定線観測時系列の欠点にも言及され, 会議は次のように総括した。(1) 定点による将来の時系列観測計画では, 移流効果が評価できるよう定点のまわりに充分空間分布した観測を含める配慮がなされるべきである。まわりの観測点は定点データの信頼度を高めるに必要な重複を与えることにもなる。(2) 単一の定線時系列よりは, むしろ屈曲した("jog"-type) 定線が海氷の力学的側面を解釈するのに有用である。

4. 新しい観測技術

効率よく観測資料を獲得するために, 人工衛星, 係留・漂流ブイなど新しい方法の導入が必要である。M. Taillade が人工衛星 ARGOS の性能とこれまでの成果について, 寺本と平は現場観測として係留系による深層の長期直接測流技術の現状と黒潮海域での実測例につい

て, G. Cresswell は衛星追尾漂流ブイのタスマニア海での使用例について報告した。

5. 時系列資料の解析

北大西洋で1953~1968の16年間9点の weather ships の観測資料に基づき, 海気エネルギー交換量とその各成分について A. D. Kirichek の統計解析を Sarkysian が報告した。時系列資料の解析の種々の方法とそれの気候問題への適用について論じられ, 解析の一様性を確保するために次の報告をまとめた。(1) 既存の資料については地域資料センターが調整にあたり, 将来の資料については共通の手順が採用されるべきである。(2) 観測機器, 手段, 資料処理アルゴリズムなどが観測資料と共に示されねばならない。

6. 観測資料の管理

D. Kohnke は IOC/IODE の枠で現在動いている海洋観測資料の国際的交換スキームについて説明し, WCRP に鑑み海洋時系列資料の効果的な国際的管理について対処することを促した。会議は次の勧告をとりまとめた。

(1) 海洋資料センターは水位資料, 漂流ブイの資料, 圧縮された CTD/STD 資料を含めること。資料管理組織の重複を避けることが望ましいので, IOC/IODE を非実時間資料の国際資料交換のための主要組織とすること。さらに, IODE についての IOC 作業委員会は, 加盟各国に前記資料をすみやかに規定の形式で海洋資料センターへ提出すること, および各国が既存の長期時系列資料をすみやかに出版すること。

(2) 最近10年間に得られた CTD と STD の大部分は未だ一般に使用可能とはなっていない。これは気候研究に障害となっているので, 各国の資料センターがすべての入手可能な CTD/STD プロファイルを抽出し, それらを国際的交換に供することを促す。

7. 各国の TSOM 計画案

本会議に14カ国とヨーロッパ共同体(EC)の海洋モニタリング計画が提出された。これには既存の単一の沿岸観測点の維持から地域的, 半球的規模の莫大な計画にいたるまで種々のものが含まれている。赤道太平洋では多国間共同のモニタリング計画も提案され, 日本, ソ連, 米国の計画については特に個別に紹介された。また, 海洋モニタリングについて種々の技術が示され, 実効のあ

る合理的なモニタリング計画はいかに実行され得るかについて論じられたが、意見の一致にはいたらなかった。

なかでもソ連の提案は WCP と長期天気予報・短期気候予報を発展させるための国際海洋モニタリング計画で、“Sections” Programme と呼ばれるものである。その基本構想は前にも述べたように、北大西洋と北太平洋の5カ所の“energetically active zones”で定期的に気象・海洋観測を実施することにより、海洋上層における含熱量と熱輸送量の季節のおよび年々変動を監視し、大気・海洋間熱交換を評価することである。ソ連は IOC と WMO の加盟各国が WCP の支持を得て国際共同モニタリング計画として発足することに同意するならば、観測船による大きな寄与ができるし、またこれが、他の既存あるいは立案中の観測計画と併せて、海洋から大陸上への熱の輸送に伴う気候の年々変動、地域的大気循環の形成・変動の機構、世界海洋における質量と熱の輸送の“model monitoring”などの理解を増進させるであろうとしている。

米国からは、目下検討中のものが報告された。全球的海洋長期モニタリングは2つの方向のものが併行し、互いに交流しながら発展すべきであるという発想が根底にある。すなわち、1つは海洋や大気の変動を定性的に記述する指標を長期的基礎の上に立って構築することであり、他の1つは特定の過程についての研究実験に使われるべき測定技術の開発である。その際、衛星観測は海洋モニタリングの基本となるであろうとしている。そして、Technical studies related to the development of a system for ocean climate monitoring, NOAA; Pacific Ocean monitoring studies, US National Committee for SCOR などの documents が参考として提出された。

今回提案された各国の計画は、WCP のための海洋モニタリングの国際計画とりまとめへの重要な第一歩となろう。今後、新しい知識や測器の改良に応じて各国の計画は修正・発展するであろうし、さらに南太平洋、南大西洋、インド洋をカバーするため隣接諸国の参加・協力がなされるよう、調整、情報交換について適切な処置がとられねばならない。

8. CCCO 第2回委員会

TSOM 会議に引き続いて、CCCO(委員長 R. Revelle) 第2回委員会が同所で5月18日から22日まで開かれた。その報告は日本海洋学会誌第37巻第2号(1981)記事として掲載されるので、ここには、CCCO が発議し推進

している研究・実験・モニタリング計画の進捗状況などの要点のみを述べておく。

8. 1. Heat Flux Experiment (CAGE)

海洋による熱の南北輸送量を20%以内の精度で評価することが目標である。第1回会合の決定に基づき発足した作業委員会(F. Dobson 議長, F. Bretherton, Burridge, J. Crease, E. B. Kraus, T. Vonder Haar)は3つの評価法(1)海面を通しての熱流束の高緯度側への面積積分による間接法,(2)海洋観測による直接法,(3)全地球熱収支と大気熱収支の差として求める間接法、の全てが同時になされるべきであるとして、北大西洋を対象にその feasibility を検討しつつある。これまでの進捗状況についての報告にもとづき、CCCO は CAGE を大西洋だけでなく太平洋を含めて、北半球が cage となるよう拡大すること、これによって海洋と大気の熱輸送の緯度平均値が比較されるとした。しかしながら、この拡大は力を分散させ、かつ、太平洋は大西洋に比して効果的モニタリングがむずかしいことなどの困難を伴う反面、TRANSPAC や日本、ORSTOM などの多くのプログラムが進行中であり、太平洋のかなりの海域は定常的であることなどプラス面もあるとして、太平洋“Cage”作業グループを設置した。委員は McBean (議長), Burridge, T. Vonder Haar, A. Bennett, W. White, 蓮沼啓一, F. Dobson (大西洋パネルとのliaison), R. Somerville か D. Anderson のいずれかであり、既存の大西洋“Cage”作業委と併行して、また、その結果を考慮して太平洋“Cage”の feasibility を検討することになった。

8. 2. World Ocean Circulation Experiment (WOCE)

WOCE の目的は WCP 海洋プログラムの最重要課題、すなわち全球的海洋における熱・水・その他の物質の循環のモデルを改善し理解を増進することのため、新しい均質な data set を収集することである。これから inverse 法などを用いて診断モデルにより海洋循環像を導出することが企図される。この設計規準に適合する data set は、少なくとも統計的に渦の活動や季節変化を解像し得るよう全海洋をカバーしなければならない。したがって、本実験は5年間以上にわたることが必要であり、またその成否は海面の衛星観測に強く依存するであろう。この衛星観測については JSC/CCCO Meeting on the co-ordination of plans for future satellite observing system and ocean experiments to be organized within the WCRP, Chilton, 26-31, January 1981 の報告書に

詳述されている。CCCO は JSC と合同の design options 作業グループを設置することにし、JSC の指名した F. Bretherton (議長), J. Woods, J. Houghton の他に、C. Wunsch, A. Sarkisyan, 永田豊, Rooth または他の地球化学者を加えた。

8.3. "Sections" Programme

TSOM 会議でソ連が提案した「WCP と長期天気予報を支える海洋モニタリング計画」略して Sections 計画の科学的基礎と主な内容が紹介された。CCCO はその事務局に SCOR や IOC の関連作業委員会と協力し、計画実施の時期や海域の調整の必要性を念頭におきながら、WCRP を目標とした各国の計画および国際共同計画の総合報告をまとめ、IOC 執行委員会に提出することを要請した。

8.4. Marginal Ice Zone Studies

海氷専門家が欠席したため、R. Stewart により MIZEX (Marginal Ice Zone Experiment) が紹介され、NINBUS 衛星から15か月間にわたって撮影されたグリーンランドーカラ海間の海水域の変動を示すフィルムが映写された。SCOR が MIZEX を検討し、それが公認されるならば CCCO へ代表者を連絡委員として出すことを勧告すると同時に、北極海氷のみではなく、南極海氷も気候変動に大きな影響を及ぼすであろうことから、JSC、特にその WGNE が、それら海水域の年々変動の気候に対する重要性について助言することを要請する。

8.5. 熱帯海域の研究

熱帯太平洋で顕著な "Southern Oscillation" についての研究、大気下層ジェットとインドモンスーン・ソマリー海流両者との関連について FGGE の研究成果が目下まとめられつつあること、熱帯大西洋では季節変化する風系に対する応答について米国内の各研究機関から提案されている観測的・理論的研究 SEQUAL (Seasonal Equatorial Atlantic Experiment)、1981年から3年間のフランスの研究計画 FOCAL (French Ocean and Climate Atlantic Equatorial Experiment) などが紹介された。CCCO はすべての赤道海域はその物理的共通性と同時に地形の差異に基づく相異性を認め、大西洋、太平洋、インド洋の3海域での国際協力研究を促進するため、それぞれについての作業グループを設置した。熱帯太平洋作業グループは B. Taft (議長), J. Donguy, 長坂昂一, A. McEwan, P. Ripa, Zuta, D. Halpern, D. Chelton, K. Wyrтки, A. Gill (CCCO liaison), ソ連の

1人から成っている。

8.6. 海洋モデリング

(1) 海洋循環とその変動にとって重要な過程を示唆する。(2) CAGE などの実験計画の立案や feasibility の事前評価。(3) 観測資料の解釈や WCRP に有用な整合された data set の準備を援助すること、などにおける海洋循環モデルの有用性に鑑み、気候に関連する海洋力学の理論とモデリングを取り扱うパネルが第1回委員会で設置された。モデリングに関し活動している国の8~10名のメンバーでパネルを構成することになり、K. Bryan (WGNE/JSC の liaison), D. Anderson (議長), A. Sarkisyan, 遠藤昌宏らが予定されている。

8.7. 二酸化炭素・地球化学的トレーサー data set

放射性トレーサーに基づく data set は地球規模での深層への貫入過程についての貴重な情報を提供する。単純化されたモデルは地球化学者によって開発され、トレーサー資料に適合されてきた。今後、それらの資料によって検定され、熱や炭素の輸送に適用し得るより一般的なモデルを開発することである。そのようなモデルは10~100年にわたる自然の気候変動を扱うのにも有用であろう。アルカリ度の測定を通して海洋へ流入する炭素を測定しようという新しい測定法は、産業革命以前の海洋のバックグランド炭素濃度を決定する可能性を有する。そしてそれはマウナロアやその他の観測所で測定された CO₂ 大気濃度に対する化石燃料と他の補給源の相対的寄与を評価することができる。もう1つの重要な発展は ³He 資料と海面から深層への軌跡に沿う経過時間を決定する技術の使用である。このような新しい地球化学的方法は、他の手段による測定を大いに補強し得るであろう。

8.8. 古気候研究

高解像度の古気候パネル (議長 T. Thiede) は、海洋の季節~100年の変動の測定可能な記録を含む海洋の試料についての研究を促進することである。嫌気性条件下で堆積したコアなどもその試料に含まれる。年々の成長を示すサンゴや軟体動物の殻も有用である。これらの試料の酸素同位体比の測定は海水温の年々の変化を示す可能性がある。グリーンランドや南極大陸のコア、大陸各地の樹木年輪や湖の堆積物も過去の気候の年々変化についての情報源である。パネルはこれらの材料や記録の統計解析・解釈について従事している科学者と接触している必要がある。

8.9. Study Conference on Large-Scale Oceanogra-

"天気" 28. 10.

phic Experiments in the WCRP

JSC と CCCO 共催の上記研究会を 1982 年 5 月 10～21 日東京で開催する。第 1 週には、気候に対する海洋の一般的諸問題や気候研究における海洋学についてのレビューで、全地球的・地域的研究、実験的・理論的研究なども含まれる。招待者 70 名程度の規模、第 2 週には、第 1 週の座長や主な参加者約 30 名が招待され、WOCE, CAGE, POMS, 赤道域研究など WCRP に関する課題についての研究報告がなされ、実験計画の準備にあてられる。組織委員会は A. Robinson (議長), C. Lieth, G. Tucker, J. Woods, M. Petrossiants, 浅井富雄, G. Kurbatkin, D. Anderson の 8 名で構成される。

8.10. 海洋モニタリング

(1) 本委員会に先立つ週に開催された TSOM の会合の報告がなされ、そのなかの勧告を若干修正したのみで承認され、次の勧告が付加された。すなわち、島や海洋での海面水位測定は海洋構造や循環の局地的・地域的変動を理解するのに貴重である。したがって、水位観測網を改善する第一歩として既存の水位観測計画と、その資料利用に熟知している科学者が新しい観測点選択について研究することを準備する。

(2) 第 1 回委員会報告にある既存の POMS Sections をレビューした。日本とソ連が実施している Section が継続されることにとどまり、他の POMS section の指定はされなかった。

(3) NAPOMS (北大西洋 POMS) や WESTPAC 計画などの地域的モニタリング研究の他に、南極周極流に関する現在進行中の研究計画が目された。この国際協力は現在 SCOR と IOC を通してなされている。

(4) 前述の衛星観測に関する Chilton 会議の勧告を歓迎し、次の点を強調した。

- a. 海洋学の見地から重要度の順に①海面高度分布の測定②海面での風のストレスの測定③ジオイドの決定などをあげ、また、IHB, IAG に情報提供を要請する。
- b. WCRP に関する海洋衛星観測システムを成功さ

せるには衛星軌道を調整することが重要であり、各国の関係宇宙機関の協力の継続・発展を促す。

- c. 海洋衛星観測資料を利用するため、海洋モデルの開発の重要性を強調。
- d. 1987～1992 年を WCRP に関連する海洋観測強化期間とする JSC の勧告に同意するが、5 年という期間は多くの海域で年変動を明確にするには短く、また多くの重要な海洋現象は 5 年よりは長いので、可能な限り海洋衛星観測の期間を延長することが肝要である。

(5) 全球的海洋モニタリングの創設は WCRP によって決定的に重要であるが、一方、技術的・経済的に、現在 WWW に似た全球モニタリングの組織は非現実的である。したがって、海洋モニタリングのいくつかの科学的側面や新しい観測技術の発展を基礎に、国内・国際的の海洋観測計画を総合しつつ、徐々に進めて行くべきである。

8.11. 海洋に及ぼす気候変化の効果

生物パネル (議長 A. Longhurst) の報告書に基づき、関心のある 9 課題を設定した。

その他、資料収集・処理・交換など気候研究を支持するサービスについても検討がなされた。

あとがき

TSOM 会議に提出された National Report は、世界気候プログラム海洋データ作業小委員会によってとりまとめられたが、その原案作成段階で気象庁、水路部、水産庁、大学の多くの関係者、とりわけ、遠藤昌宏、長坂昂一、木村吉宏、二谷颯男、吉田昭三、西田英男、友定彰、蓮沼啓一、響田邦夫、倉沢由和氏等の協力を得た。本会議のために講堂その他の施設、便宜を提供していただいた水路部関係各位に深謝するとともに、会議事務局で会議の円滑な運営にその労を惜しまなかった遠藤昌宏、二谷颯男、西田英男、長坂昂一、中村晃三、石川浩治、三沢信彦、中村真理、工藤恵、田草川直子の皆さんに感謝する。