

国際海洋物理学協会総会報告*

謝 尚 平**

1. はじめに

上記の国際会議が、1995年8月7日から12日にわたって米国ハワイ州ホノルル市 Hilton Hawaiian Village にて開催された。4年に一度のこの総会に世界各国から約700名、日本からも数10名の研究者が参加した。総会中、下記の13のシンポジウムが開催された。

1. Large-Scale Ocean Circulation
2. Decadal and Interdecadal Variations in the Ocean
3. Circulation of Marginal Seas and Semi-Enclosed Seas
4. Coastal Ocean (A): Interaction with the Open Ocean
5. Coastal Ocean (B): Interaction with the Adjacent Land
6. Carbon Dioxide in the Oceans
7. Air-Sea-Ice Interactions and High-Latitude Ocean Processes
8. Dynamics of the Open Ocean from New Satellites
9. Marine Dispersion
10. Spatial Structure of Short Ocean Waves
11. Physical, Chemical and Geological Oceanography
12. Ocean-Atmosphere Coupling: TOGA/COARE
13. Internal Waves and Small-Scale Turbulence in Oceans, Lakes and Atmosphere

その内、筆者がシンポジウム1, 2と12に出席したので、それらのシンポジウムの発表内容・様子を私見を交えて報告する。

2. 熱帯大気海洋相互作用

鳥羽名誉教授(東北大学)を主コンビナーとするこのシンポジウムで、昨年終了した大気海洋結合系応答実験(COARE)の結果を中心に100を超えた研究発表があった。1993年テキサス州 San Antonio 市の COARE 会議では、集中観測から帰ってきたばかりの関係者がどのような観測をしたか。また、どんなデータが取れたかということしか話していなかったのに対して、今回は COARE 観測のデータ解析が各グループで確実に進められている様子が伺える。集中観測期間中の大気擾乱について、白鳳丸で観測された数日振動や渦による亜熱帯乾燥空気の熱帯への貫入を中心に住教授(東京大学)が紹介した。そのほかの講演で日変化、季節内振動、西風バーストと海洋の表層低塩分 Barrier Layer などの現象がよく取り上げられた。

背の高い対流の日変化は cloud cluster のサイズが大きいくほど大きくなる。水平スケールの大きな cloud cluster は夜中や早朝に最も卓越する(Chen, Houze ほか, ワシントン大学)。対流活動の日変化が海面水温の日変化によるという無理な関係付けの講演もあったが、前者では放射による効果が大きいくように思われる。COARE の中心課題の1つである季節内振動については、中沢・柴田(気象研究所)が可降水量のピークが対流より5日ほど先行していることを示した。東進する大気の季節内振動が海洋の季節内振動を引き起こしていることを鈴木・竹内(北海道大学)が TOGA-TAO データから見出した。

低塩分 Barrier Layer に関連する発表が多かった。大規模な対流活動に伴う降水が表層の塩分を薄め表層に低塩分層ができる。この低塩分層は最初は強風による冷却や鉛直混合でやや冷たいが、その後は強い日射によって温度が回復する(Paulson and Legerloef, オレゴン州立大学)。この低塩分層が夜中の混合深度を制限する効果があり、日射の熱がこの浅い混合層にたまるため、対流通過後の海面水温の回復が促進される(Anderson and Weller, Woods Hole)。Scripps の

* Report on the XXIst General Assembly of the International Association for the Physical Science of the Oceans.

** Shang-Ping Xie, 北海道大学地球環境科学研究科。

© 1996 日本気象学会

Niiler のグループが表層 drifter に塩分センサーを付け、低塩分層生成時の様子を捉えた。低塩分層の温度の低下と共に、塩分の増加も見られ、それは鉛直混合によるものだと指摘した (Ralph ら, Scripps)。Warm pool の鉛直混合に塩分が影響するメカニズムとして、海面での負の塩分フラックスの他に、南半球亜熱帯から ventilate されてくる高塩分躍層水が表層との塩分差を増大させる効果も重要だと、Lukas (ハワイ大学) と Webster (コロラド大学) が主張した。このような亜熱帯と赤道との水交換が風成循環の一環で、30年ほど前から土屋ら (Scripps) によって指摘されており、最近海洋大循環モデルにおいても再現されている (野中・竹内, 北海道大学)。

集中観測期間中、微風 ($< 3 \text{ ms}^{-1}$) 期が3分の1の時間を占める。しかし、 17 ms^{-1} 以上の強風期もあった。そのため、海面潜熱フラックスが SST に殆ど依存せず風速変動に支配される (Rogers ら, Scripps)。従って、潜熱フラックスを正しく求めるためには風速の高周波数変動の効果を考慮する必要がある (Bradley, CSIRO)。スケール間の相互作用の例として、日変化の振幅が季節内振動に変調されることが COARE によって明らかになった。季節内振動の対流活発期には日中の日射が減り、また海洋混合層も深く、日変化が小さい。対流通過後の晴天時には逆に日射が大きく、鉛直混合も押さえられ、日変化が増幅される。しかし、大気・海洋の日変化の長期変動への影響は殆ど見られない (Schneider and Iacobellis, Scripps)。COARE の注目している数時間から数10日のスケールにおいては、季節内振動や西風バーストなど大気の固有変動が支配的で、海面水温変化による海洋からのフィードバックが小さいようである。

COARE は多くの人材、船舶、航空機を組織し、今まであまりデータのない西太平洋赤道域で様々な観測種目をこなし、貴重なデータを採集した。真の国際協力にも成功している。しかし、warm pool の気候学的重要性について一部の人には大きな誤解があるようである。最も高い海面水温、最も大きな対流の中心になっていることが warm pool の重要性をアピールする根拠としてよく用いられる。しかし、warm pool の重要性は局所的に warm pool を見るだけでは見えてこないもので、他の熱帯域との相互作用という見方をしなければいけない。warm pool 域に限って言えば局所的な大気海洋相互作用が極めて弱い。Thermocline が深いため、SST の変化が小さい。また、高水温が緯度・

経度方向に広く分布しているため、local SST の大気対流活動への影響も小さい。Local coupling の弱さが ENSO 時に最もよく現れる。ENSO に伴う thermocline 変動が大きいにも関わらず、西太平洋で SST の応答が小さい。また、warm phase にインド洋・西太平洋で見られる対流活動の減少は中・東部太平洋の変動によるもので、決して局所的な SST 変化に起因するものではない。COARE の目指す大気海洋結合系のスケール間相互作用の解明という目的を達成するためには、このような全球的、少なくとも全熱帯的な視点が必要のように思われる。

COARE がこのシンポジウムの主題であったが、Large-Scale Interactions というセッションが半日あった。筆者はそこで熱帯気候の非対称性について発表した。風速と海面水温の間に、海面潜熱フラックスを通して正のフィードバックが働く。そのため、結合不安定が起き、観測されたような熱帯収束帯の南北非対称性をもたらす結果を紹介した。発表後、海面フラックス計算で有名な Esbensen 教授 (オレゴン州立大学) が、風速・蒸発・SST フィードバックの存在を裏付ける熱帯収束帯付近での観測結果を見せてくれた。シンポジウム2で飛び入り講演をした Philander 教授 (プリンストン大学) も関連した発表をし、南北非対称結合不安定の重要性を強調した。熱帯収束帯が北半球に停滞することが赤道年周期振動の鍵であるという筆者の提案が結合大循環モデルの結果から実証されつつあることで締めくくった。季節変化に関連して、Scripps の Zhang 博士が筆者に面白い結果を見せてくれた。日射の季節変化から西太平洋で半年周期の SST 季節サイクルが予想されている。しかし、COADS (Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set) からはこの半年サイクルがうまく検出できなかった。Zhang が商船のデータからきれいな半年サイクルを出した。しかも、平均スカラー風速もきれいな半年周期を示している。ワシントン大学の Wallace 教授もこの半年振動の問題に悩まされていたが、いい結果を出すには approach を時には変えることも大事である。

3. 10年・数10年変動 (Symposium 1 & 2)

10年・数10年変動の例としては、何といってもやはり70年代を通して北大西洋で観測された上層 800 m まで及ぶ海洋の低塩分化イベント Great Salinity Anomaly (GSA) がもっともよく知られている。Levitus (NODC/NOAA) がこの GSA も含め10年・

数10年変動の海洋観測例をレビューした。Dicksonらが1988年の有名な論文で提案した、GSAがGIN (Greenland-Iceland-Norwegian) Seaで生成され、北大西洋の亜寒帯循環によって移流される説に対して、ドイツのKoeberle and Gerdesが海洋大循環モデルにおいて生成後大気からの forcing がなければGSAが維持できない結果を発表した。一方、海洋上層で最もシグナルの大きいGSAが北大西洋深層水の形成に影響を及ぼす可能性もある。例えば、北大西洋の西岸における80年代のCFC (Chlorofluoro-carbon) 観測からは深層水の上部に位置するLabrador Sea Water (LSW)が見られていない。しかし、93・94年の観測では、西岸境界流として流れてきたLSWが再びCFC 極大の水塊として捉えることができた (Smethie, Lamont)。

このような気候変動を説明するためのBoxモデル (池田, 北海道大学) や大循環モデルの結果も紹介された。近年、海洋深層循環の自励振動が有望なメカニズムとして注目された。Greatbatch, Zhangら (Newfoundland 大学) が、このような自励振動は沿岸ケルビン波が海を一周することによって起きると主張した。極域対流域で海洋成層が非常に小さいため、ケルビン波の伝搬速度が著しく遅くなり、数10年という時間スケールをもたらすという。彼らの粗い水平解像度モデルにおいてはそうかも知れないが、現実のケルビン波は強く岸に捕捉され、特に極域対流域では内部変形半径が著しく小さくなることが予想される。そのため、実際の沿岸ケルビン波は強く減衰されるはずで、とても大西洋を一周できないように思う。

北太平洋における10年・数10年変動の特性もEOF解析などの手法で調べられており、大凡の空間パターンは数年スケールのものと似ている (谷本・花輪, 東

北大学; Grahamら, Cayanら, Millerら, Scripps)。これらの変動を結合大循環モデルを用いてシミュレートしようとする試みもあった (Xu, Scripps)。10年・数10年変動が熱帯のエルニーニョにも影響を及ぼし (Wang, ハワイ大学)、また日本海でも検出された (見延, 北海道大学)。

山形教授 (東京大学) をコンビナーとする Symposium 2の発表が総会参加者の関心を集めた。初日の第1セッションでは最初与えられた小さな部屋では立ち見が数10人出るほどの盛況だった。ただ Symposium 1でもWOCE (World Ocean Circulation Experiment) の観測断面で見られる長期変動を報告する講演が同時に行われたので、両方聞くことができず、残念だった。

4. 終わりに

海洋南北循環「Great Conveyer Belt」を観測から裏付けたことで知られているGordon教授 (Lamont) がSymposium 1 (WOCE) でこう言った: 「海洋学者は今までは海洋が気候に重要だと自分に言ってきたが、これからは他分野にも海洋の重要性を認識してもらえるように努力していかなければいけない」 (Oceanographers have been talking to themselves that the ocean must be important for the climate. From now on, we have to think hard and convince others of the importance of the oceans)。このような反省によって、TOGAに見られた海洋学者と気象学者の相互作用がWOCEや10年・数10年変動の研究においても盛んになることを期待したい。

本総会に出席するに当たり、日本気象学会国際学術交流委員会 (竹内清秀委員長) より渡航費の一部を援助していただいた。ここに記し、感謝したい。