

3. モンスーン海洋学の夜明け*

山形 俊男**

過去10数年間のエル・ニーニョの研究を契機に短期の気候研究にも大気海洋結合モデルが道具として不可欠とされる時代になった。いまや全世界で程度の差はあれ、数え切れないほどの大気海洋結合モデルが作られ動いている。短期の気候変動は社会の活動と密接に関係し、それゆえに変動予測への社会のニーズも高いからである (Yamagata and Masumoto, 1992)。しかし気候システムを構成する大気、海洋、陸面過程の各要素をとにかく結合させ、なにがしかの結果を得ればよいというのではこころもとない。結合モデルの重要性の高まりは、一方で信頼に足る高精度のパーツの必要度が高まったということでもあろう。

そこでこの10年ほどは海洋の季節変動を高解像の海洋大循環モデルを用いて記述し、観測事実と比較する作業を進めてきた。モデルはできるだけ海盆スケールで動かすが、解析は著しい短期の大気海洋現象が見られる局所的な海域を選んで、詳しく行うことにした。1980年代の半ばまで海洋大循環モデルの研究者はグローバルな物理量に興味を持ち、矩形の海洋モデルを用いるなどしていたために実際の海洋データと比較するには無理があった。地球流体力学における数値回転水槽の域を出ていなかったといえ言い過ぎであろうか。後発の研究グループとして、しかも計算機資源にも、研究費にも限りがあるなかで、いかにして研究成果を世界に売り込むかを考えた選択である。

馬谷、升本、飯塚、鍵本、阪本、ギルグー各氏の尽力により、これまで太平洋のコスタリカ・ドーム (Umatani and Yamagata, 1991)、ミンダナオ・ドーム (Masumoto and Yamagata, 1991)、大西洋のアンゴラ・ドーム、ギニア・ドーム (Yamagata and Iizuka, 1995) などの湧昇ドームの成因やインドネシア通過流

(Masumoto and Yamagata, 1993; Masumoto and Yamagata, 1996)、インド洋熱帯域の季節変動 (Yamagata and Masumoto, 1996; Yamagata *et al.*, 1996)、オーストラリア大陸まわりの循環の季節変動と南半球の偏西風の関係 (Masumoto and Yamagata, 1996)、黒潮の季節変動などについて明らかにすることができた。これらの現象はすべて大気-海洋-陸域の相互作用が重要な海域に生起するので、その意味ではモデル研究を通して<モンスーン海洋学>という新しい範疇を開拓したと思う。ちなみに国際的には CLIVAR/GOALS の枠組みでこの方面の研究を鼓舞することに努めている (本年5月に出版された J. Geophys. Res. 特集号参照)。以下では院生の鍵本氏、阪本氏らの貢献による黒潮の季節変動に関する最近の研究についてその概略を紹介する (Kagimoto and Yamagata, 1995; Sakamoto and Yamagata, 1996a)。

出来るだけ正確な海岸、海底地形を導入した高解像の海洋大循環モデルを海面フラックスの月平均気候値で駆動したところ、モデルに再現された黒潮は日本南岸ではいわゆるC-型の流路 (非大蛇行離岸流路) をとることがわかった。そこで日本南岸でこの流路をとった時の流速の直接測定と比較し、極めてよい結果であることがわかった。南西諸島沿いの黒潮は常に決まった流路をとるので長崎海洋気象台による過去20数年の密度データを用いた力学計算値と比較し、流速の値、分布ともにこれまた極めて良好な結果を得た。

このような良好な結果を得た原因を渦度収支の観点からしらべたところ、傾圧場と大陸斜面の相互作用による JEBAR (Joint Effect of Baroclinicity and Bottom Relief) が極めて重要な役割を担っていることがわかった。良く知られているように冬季には北太平洋の強い風系に伴って海洋には負の渦度が注入される。励起された傾圧場は海底地形と激しく作用しあつ

* The dawn of monsoon oceanography.

** Toshio Yamagata, 東京大学大学院理学系研究科.

© 1996 日本気象学会

て、回転地球の正の惑星渦度場を弱める。これは気象学における山岳トルクに対応するものである。傾圧場も励起されるがこちらは有効位置エネルギーを海洋に貯め込む効果が重要である。ところが夏季の風系は弱く、あまり負の渦度を伴わない。極端な表現であるが、渦度の力学が重要となる海洋大循環の観点からすれば夏は無風のようなものなのである。黒潮流量の主成分は順圧場からなるので、このままでは夏季の黒潮は著しく弱まるはずである。ところが実際はむしろ強まるか、一年中ほとんどかわらない。これはなぜだろう？ 冬季に蓄積された有効位置エネルギーは大陸斜面を触媒として開放され、負の渦度を持つ順圧場を生むからである。これこそが JEBAR の役割である (Sakamoto and Yamagata, 1996b)。夏季には大気の流れによる負の渦度の注入が止むかわりに、冬季に蓄積された傾圧場と海底地形（特に大陸斜面）の相互作用からなる JEBAR 項による負の渦度の注入が活発になるのである。このように説明すれば簡単なことである。これまで惑星波動の地形を介した鉛直構造の変化というような局所的にしか使えない概念に囚われていたために、1970年ごろにロシア学派に芽生えた JEBAR の概念を正しく理解することが遅れ、統一的なイメージを描けなかったのである。こうした JEBAR の役割を < JEBAR rectification > と名付けた (Sakamoto and Yamagata, 1996a)。(JEBAR は傾圧場と山岳地形の相互作用がみられるところでは渦の発生源として気象力学でも現れてよい効果である)。

JEBAR は傾圧場から順圧場へのエネルギー輸送を伴うので、適当な条件下では不安定渦を励起しやすい。実際、モデルでは南西諸島沿いには時計回りの渦が春から夏に形成されこれに伴う西側の北向き流れが黒潮の流量を増大させる。この渦は最終的には四国沖の暖水塊に吸収され、黒潮の再循環系を生む。長期の海洋観測データはこの描像を支持していることもわかった。蓮沼と吉田が1978年に指摘した日本南方四国沖から台湾に至る < 黒潮反流 > はまさにこの再循環系をさすものと理解できるのである。

モデルを実用化し、社会のニーズに応えようという極めて現業的な試みが、海洋大循環の一つの本質的なテーマに導いてくれた例であると確信している。グローバル・モデルが局所的に（現業的に）使えるようになったことで、今や海洋物理学は新しいフェーズに

入ったのである。

参考文献

- Kagimoto, T. and T. Yamagata, 1995 : Seasonal transport variations of the Kuroshio : An OGCM simulation, Submitted to J. Phys. Oceanogr.
- Masumoto, Y. and T. Yamagata, 1991 : The response of the western tropical Pacific to the Asian winter monsoon : The generation of the Mindanao Dome, J. Phys. Oceanogr., **21**, 1386-1398.
- Masumoto, Y. and T. Yamagata, 1993 : Simulated seasonal circulation in the Indonesian seas, J. Geophys. Res., **98**, 12501-12509.
- Masumoto, Y. and T. Yamagata, 1996 : Seasonal variations of the Indonesian Throughflow in a general ocean circulation model, J. Geophys. Res., **101**, 12287-12293.
- Sakamoto, T. and T. Yamagata, 1996a : Seasonal transport variations of the wind-driven ocean circulation in a two-layer planetary geostrophic model with a continental slope. J. Mar. Res., **54**, 261-284.
- Sakamoto, T. and T. Yamagata, 1996b : Evolution of baroclinic planetary eddies over localized bottom topography in terms of JEBAR. Accepted by Geophys. Astrophys. Fluid Dyn.
- Umatani, S. and T. Yamagata, 1991 : Response of the eastern tropical Pacific to meridional migration of the ITCZ : The generation of the Costa Rica Dome, J. Phys. Oceanogr., **21**, 346-363.
- Yamagata, T. and Y. Masumoto, 1992 : Interdecadal natural climate variability in the western Pacific and its implication in global warming, J. Meteor. Soc. Japan, **70**, 167-175.
- Yamagata, T. and S. Iizuka, 1995 : Simulation of the tropical thermal domes in the Atlantic : A seasonal cycle, J. Phys. Oceanogr., **25**, 2129-2140.
- Yamagata, T. and Y. Masumoto, 1996 : On the annual and semiannual variations of the Indonesian Throughflow, Umi to Sora, **71**, 97-112. (with Japanese abstract)
- Yamagata, T., K. Mizuno and Y. Masumoto, 1996 : Seasonal variations in the equatorial Indian Ocean and the impact on the Lombok Throughflow, J. Geophys. Res., **101**, 12465-12473.