

## 6. コメント：変動する地球気候

山 形 俊 男\*

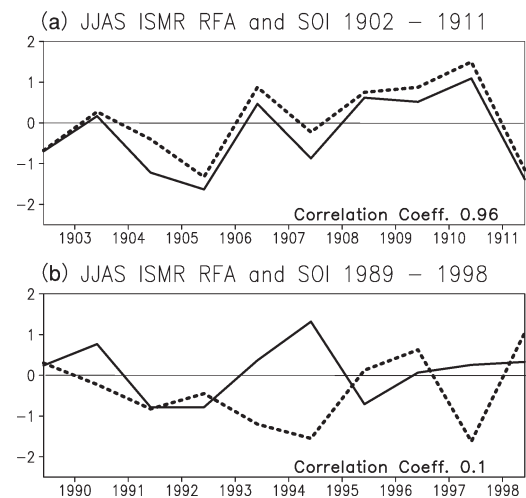
### 1. はじめに

スウェーデンの著名な気象学者ヒルデブランズソンやイギリスのアマチュア天文学者でネーチャー誌の創刊者でもあり、南方熊楠とも交流のあったロッキヤーらは19世紀末から20世紀初頭にかけて南方振動に関する先駆的な仕事を活発に行った。これに基づいて、ウォーカーやブリスらは1920年代にインド全土の夏季の降水量変動と大気南方振動現象が強い相関を示すことを発見した。ウォーカーらは更にモンスーンの予報を目指して気圧、気温、降水量の相関を地球規模で精力的に調べ、その過程で北極振動現象の片鱗さえも捉えている。

その後、1960年代にビヤルクネスらは、南方振動現象はヒルデブランズソンが予想したような海水によるものではなく、太平洋熱帯域のエルニーニョ現象と密接に関係していることを明らかにした。このビヤルクネスの仕事には1957~58年のIGY (国際地球観測年) 期間中にたまたま発生したエルニーニョの観測データが重要な貢献をしている。1980年代になるとエルニーニョ・南方振動 (ENSO) 現象の数理的理解が進み、完璧ではないにしても予測さえも試みられるようになってきた。1920年代に発表されたウォーカーやブリスらの仕事に基づくならば、インドの夏のモンスーン (ここではインド全土の夏季の降水量を指す) の予測もある程度は可能になるはずであった。

### 2. インドの夏のモンスーンとエルニーニョの関係の変化

ところがインドの夏のモンスーンとエルニーニョ現象は、最近では統計的にほとんど関係がない (第1図)。



第1図 インドの夏 (6~9月) のモンスーンに伴う降水量 (実線) と南方振動指数 (点線) との相関。いずれも正規化された時系列。(a) 20世紀前半の1902~1911年 (相関係数0.96), (b) 20世紀後半の1989~1998年 (相関係数0.10)。S. K. Behera による。

エルニーニョ現象の予測ができてもインドの夏の降水量の予測はできない。最近の気候はウォーカーやブリスらの時代の気候と違ってしまったのである。これは、インド洋に正のダイポールモード現象が発生すると、ベンガル湾からインド北部で夏の降雨を活発にし、これがエルニーニョ現象の影響を打ち消すためと考えられる (Ashok *et al.*, 2001)。

エルニーニョ現象、ダイポールモード現象、北極振動現象など、気候変動を構成する要素現象を気候変動モードと呼ぶならば、各モードの強さや発生頻度、発生組み合わせなどがより長い時間スケールで変化していると言えるであろう。ダイポールモード現象が同

\* 東京大学大学院理学系研究科。

© 2007 日本気象学会

定されたのは1999年であるから、地球気候システムにはまだまだ隠れた気候変動モードがあるはずである。曖昧な定義によって縮退した現象について、その物理を的確に把握することにより解きほぐす作業がまだまだ必要である。

### 3. 熱帯の十年スケールの変動の正体

経年変動よりも長い時間スケールを持つ気候変動モードとして十年スケールや数十年スケールの気候変動現象がよく議論される。このような長期変動現象のなかで熱帯域のものは真のモードであろうか？

経験直交関数 (EOF) 解析などから求めた空間パターンは経年変動であるエルニーニョ現象やダイポールモード現象に酷似している (例えば Luo and Yamagata, 2001; Ashok *et al.*, 2004)。海洋アノマリーの空間構造や移動の様子を見ると、時間スケールの違いを除けば、ほとんど経年変動現象と変わりが無い。極端に言えば時間スケールのみ違う2種類の大気海洋現象が同じ容器の中に共存するという奇妙なことが起きている。正の現象と負の現象の発生頻度や強度がより長い時間スケールで変化する場合には、容易に長期の類似現象を作り出すことが出来ることから、十年スケールの熱帯の変動は線形解析手法によって作られた幻の概念かもしれない (Tozuka *et al.*, 2007)。この状況は非線形現象であるソリトンに調和解析を施して多くの波動を得ることに似ている。

### 4. 古気候研究と気候変動研究の交流

最近の古気候研究によれば、温暖な鮮新世初期 (450~300万年前) には永年エルニーニョ現象が存在したらしい (Ravelo and Wara, 2004; Ravelo *et al.*, 2004)。西インド洋からケニア周辺がかなり湿潤であったこととインドネシア周辺の乾燥状態をあわせて考えると、インド洋には永年ダイポールモード現象が存在した可能性が高い。当時の二酸化炭素は現在程度

であったこと、エルニーニョ的な状況が熱帯太平洋に頻発する最近の気候の状況、また IPCC 報告用のいくつかの温暖化シミュレーションが永年エルニーニョの様相を示し、海洋の温暖化による地球温暖化が著しいことは我々にとって示唆的である。地球気候は徐々に鮮新世初期のレジームに遷移しつつあるのかもしれない。

分析技術の向上により活気の蘇った古気候研究と物理数学を基礎とする気候変動研究が活発に交流する舞台が整ってきたようである。

### 参 考 文 献

- Ashok, K., Z. Guan and T. Yamagata, 2001: Impact of the Indian Ocean Dipole on the relationship between the Indian Monsoon rainfall and ENSO, *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 4499-4502.
- Ashok, K., W.-L. Chan, T. Motoi and T. Yamagata, 2004: Decadal variability of the Indian Ocean dipole, *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L24207, doi: 10.1029/2004GL021345.
- Luo, J.-J. and T. Yamagata, 2001: Long-term El Niño-Southern Oscillation (ENSO)-like variation with special emphasis on the South Pacific, *J. Geophys. Res.*, **106**, 22211-22227.
- Ravelo, A. C., D. Andreassen, M. Lyle, A. Olivarez Lyle and M. W. Wara, 2004: Regional climate shifts caused by gradual cooling in the Pleiocene epoch, *Nature*, **429**, 263-267.
- Ravelo, A. C. and M. W. Wara, 2004: The role of the tropical oceans and global climate during a warm period and a major climate transition, *Oceanography*, **17**, 32-41.
- Tozuka, T., J.-J. Luo, S. Masson and T. Yamagata, 2007: Decadal modulation of the Indian Ocean Dipole in the SINTEX-F1 coupled GCM, *J. Climate*, **20**, in press.