

4. 東アジアにおける近年の水循環と気候の変動について

安成 哲三*

1. はじめに

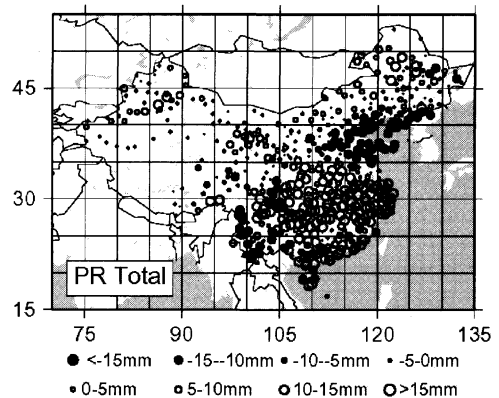
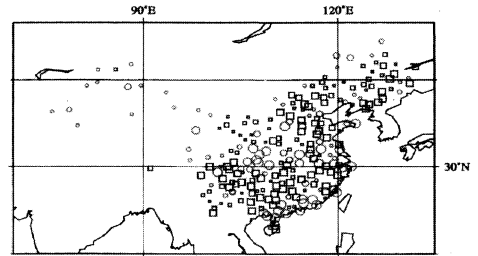
近年、特に1980年代以降、北半球高緯度を中心とした「温暖化」が非常に顕著に現れている。これが温室効果ガスの増加に伴う「地球温暖化」の現れではないかとする議論が活発になされている (IPCC, 2001など)。しかし、この「温暖化」に伴って、地球の水循環はどう変化するか、あるいはしつつあるのかという、人類にとって、ある意味でより重要かつ緊急の問題については、未解明あるいは不確定な要素が非常に大きい。多くの大気循環モデル (GCM) による数値実験は、温室効果ガスの増加に伴い全球的な水循環が活発化し、降水量は増加するという予測をしているが、モデルによるばらつきも、気温変化の予測に比べて、非常に大きい。また、近年の急激な「温暖化」に対応して、水循環が果たして現実には活発化しているかどうか、未解明である (Yasunari *et al.*, 2002)。特に、アジアモンスーン地域は、地球表層の水循環とその変動において、非常に大きな役割を果たしていること、この地域には地球人口の6割近くが集中し、今後の世界の水資源問題を考える上でも、非常に重要な地域であることなどから、水循環変動 (変化) の実態解明とその予測は、極めて重要かつ緊急の課題である。

この報告では、東アジアを中心とするアジアモンスーン地域における降水量、雲量など、水循環・気候要素の変動についての実態を報告し、今後の課題を含めて議論したい。

2. 東アジアにおける降水量の長期変化

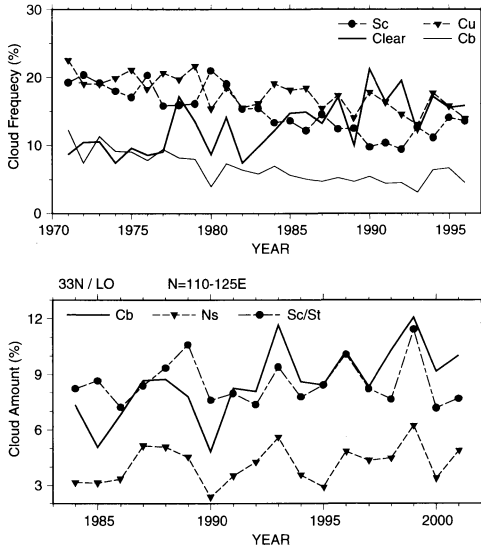
中国を中心とする東アジアの降水量の経年変動と過去数十年の長期変化について、私たちのグループはいくつかの解析を行ってきた (Tian and Yasunari,

1992; Yatagai and Yasunari, 1994; Yatagai and Yasunari, 1995; Yasunari, *et al.*, 2002など)。これらの研究では、第1図に示すように、1950-1990年代、1960-2000年代とも夏の長江流域沿いの梅雨 (Meiyu) 前線帯にあたる地域において降水が増加していることを、顕著に示している。一方で、その北の黄河流域を中心とする半乾燥域と、その南の華南地域における減少傾向が、共通して見られる。いわゆるケッペンの気候分類を年々の気候にあてはめた年候の長期変化で



第1図 1951-1990 (上)と1961-2000 (下)における中国の夏季降水量のトレンド。上図は○(□)印が増加(減少)傾向を示す。下図では増加(減少)傾向は○(●)印、値を4段階の大ききで示す (Yasunari, *et al.*, 2002; Endo and Yasunari, 2003)。

* 名古屋大学地球水循環研究センター/地球フロンティア研究システム. yasunari@hyarc.nagoya-u.ac.jp
© 2004 日本気象学会



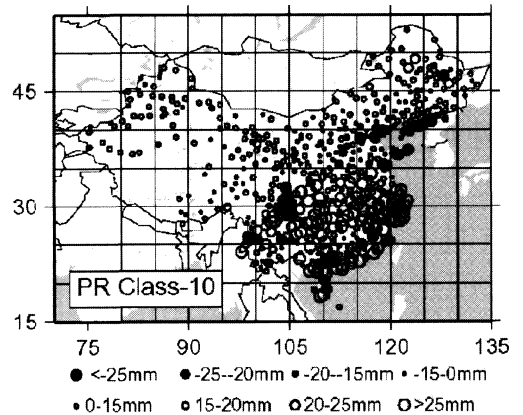
第2図 長江流域における(上)地上観測からの低層雲(1971-1996)の減少と(下)ISCCP衛星雲量(1984-2001)による対流雲量(Cb)の増大(Endo and Yasunari, 2003).

も、黄土高原から黄河下流域にかけて、砂漠気候(BS)の出現頻度が増加していることが示される(図省略)。

3. 東アジアにおける雲量の長期変化

最近、Endo and Yasunari (2003)は、中国の地上観測記録と、ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project)による衛星観測からの雲量の長期変化を解析した結果、第2図のように、長江流域の降水量の増加に対応して、地上から見た積乱雲(Cb)量の減少と衛星から見た対流雲の増加という、一見矛盾するような傾向を見出した。しかし、これはメソスケールの組織化された対流雲が増加したため、地上から観測される個々の積乱雲の量が見かけ上少なくなったためとも解釈できる。いずれにせよ、梅雨前線に伴うメソスケールの対流活動の活発化とそれに伴う降水量の増加が、長江流域には起こっており、時系列からは、特に1980年代以降、急増していることがわかる。

このような大規模対流に伴う雲量の増加傾向は、ほぼ同じ長江地域での強雨頻度の増加傾向としても現れている(第3図)。この傾向は、特に1980年代後半以降に顕著になっており、降水量の増加とも対応している。



第3図 夏季(JJA)の最上位10%の階級に属する強雨の線形トレンドの地理的分布。増加(減少)傾向は○(●)印、値を4段階の大きさで示す(Endo and Yasunari, 2003)。

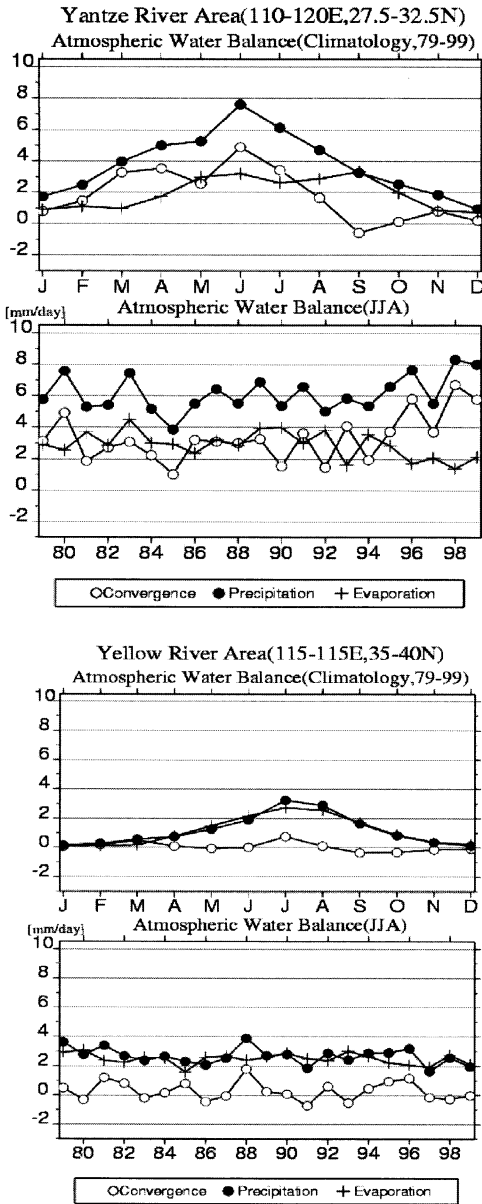
4. 東アジアにおける大気水循環の変化

それでは、上記に示した降水量や乾湿分布の変化は、どのような大気循環と水蒸気輸送場の変化と関連しているのだろうか。それを調べるために、最初に、この地域における降水量(P)が、水蒸気フラックス収束(C)、蒸発散量(E)と、季節的にどのようにバランスしているかをみてみよう。大気水収支では、月単位程度以上の長い時間スケールでは、近似的に、 $P=C+E$ と表現できる。

第4図は、長江流域とその北の黄河流域における大気水収支の気候学的な季節変化と、降水量が集中する夏季の過去約20年間における変動を示している。この南北に隣接する2つの地域で興味深いことは、大気の水収支においてPの起源が、長江流域では基本的にCであるのに対し、黄河流域ではEがそのほとんどを占めていることである。即ち、長江流域では、モンスーン気流や太平洋高気圧の周縁をめぐって熱帯海洋上からもたらされる水蒸気が降水の主たる源であるのに対し、乾燥地域である黄河流域では、そのほとんどが地表面からの蒸発散に拠っているという違いがある。

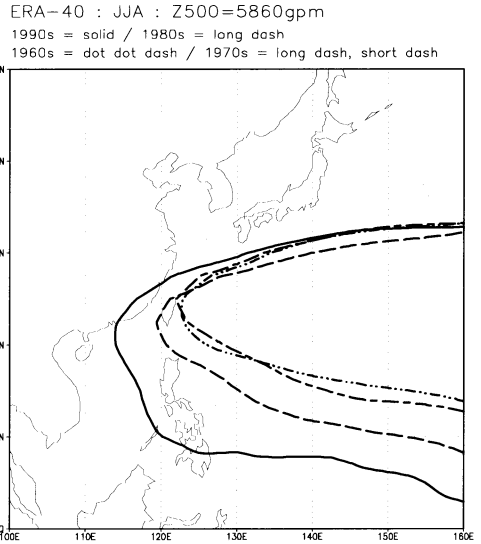
夏季降水量の年々変動についても、この特性はよく現れており、長江流域での近年の降水量の増加傾向は、1980年代後半以降の水蒸気輸送(収束)の増加傾向とよく対応している。一方、黄河流域では、降水量の減少傾向と蒸発散の減少傾向が、量的にもほぼ対応して変動していることがわかる。

大気循環場の解析では、長江流域での水蒸気輸送(収



第4図 (上)長江流域と(下)黄河流域における大気水収支の気候学的季節変化と夏季(6-8月)における3要素(降水量P, 水蒸気収束量C, 蒸発散量E)の1979-1999における経年変動。

東)の増加と、これに伴う大規模な対流活動の強化と降水量の増加は、第5図に示すように、特に1990年代以降、中国大陸の南部方面への太平洋高気圧の張り出しが強くなり、高気圧周縁に沿った水蒸気の流入が大きく関与している可能性が示唆される。これに対し、



第5図 NCEP-NCAR 客観解析データの夏季の500 hPa (5860 gpm)の季節平均した高度線で表した太平洋高気圧の張り出し。1960年代から10年ごとの平均で示す。1960年代：二点鎖線、1970年代：一点鎖線、1980年代：破線、1990年代：実線。90年代のほうが70年代以前に比べ、中国大陸南部への張り出しが強くなっている (Endo and Yasunari, 2003)。

黄河流域での降水量(と蒸発散量)の減少傾向については、大規模な大気循環の変動が原因か、あるいは、黄土高原などで典型的に指摘されている植生改変などの影響なのか、その原因の解明は今後の課題であろう。

5. おわりに

以上の解析結果をまとめると、近年、特に1980年代後半以降から、中国大陸では、長江流域での梅雨前線に伴う降水量と強雨の頻度が増加し、衛星および地上観測からの対流雲や下層雲の変動解析からも、これに対応する結果が得られている。一方で、その北の黄河地域では、乾燥傾向が強まり、砂漠気候の拡大、あるいは年候 (year climate) でみた年々の気候も、乾燥化が広がっていることを示している。大気水収支変動の解析結果から、長江流域での降水量変化については、基本的には水蒸気輸送(収束)の変化が原因となっており、太平洋高気圧の中国への張り出しなどがその一因であることが示唆された。他方、黄河流域の乾燥化については、蒸発散の減少との対応が顕著であり、植生や地表面状態の改変が関与している可能性もある

が、南の梅雨前線などの強化に対応した大規模な循環場の変動とも関係している可能性も残されている。今後、さらに調べていく必要がある。

北半球夏季における水循環変動が、温室効果ガスなどの増加と、どのようにリンクする可能性があるかについては、まだ未解明である。ただし、太平洋高気圧の強弱や、蒸発散変化などからも示唆されるように、今後は熱帯の大気海洋相互作用やチベット高原などを含めた大気陸面相互作用が、このような人為的な大気の変更に対し、どう応答を変えていくのか、あるいは、植生の改変などがどの程度、広域の大気・水循環を変化させるのか、などについて理解を深めることが重要である。気候モデルによる研究もさることながら、より長期的な観測による実態把握とプロセスの解明が最も必要であろう。

謝 辞

ここに紹介した研究は、未発表、投稿中の部分も含め、遠藤伸彦(地球フロンティア研究システム)、西山いずみ(元筑波大環境科学研究科)、山谷 亨(筑波大学環境科学研究科)、小澤 晃(元筑波大学環境科学研究科、名大環境学研究科受託院生)各氏との共同研究に拠っている。ここに記して、感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- Endo, N. and Y. Yasunari, 2003: Secular trends of summer precipitation in China: How does the heavy precipitation vary?, *J. Meteorol. SOC, Japan* (submitted).
- IPCC, 2001: *Climate Change 2001.*, Cambridge Univ. Press, pp. 881.
- Tian, S. F. and T. Yasunari, 1992: Time and space structure of interannual variations in summer rainfall over China, *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**, 585-596.
- Yatagai, A. and T. Yasunari, 1994: Trends and decadal-scale fluctuations of surface air temperature and precipitation over China and Mongolia during the Recent 40 Year Period (1951-1990), *J. Meteor. Soc. Japan*, **72**, 937-957.
- Yatagai, A. and T. Yasunari, 1995: Interannual variations of summer precipitation in the arid/semi-arid regions in China and Mongolia: Their regionality and relation to the asian summer Monsoon, *J. Meteor. Soc. Japan*, **73**, 909-923.
- Yasunari, T., I. Nishiyama, and A. Yamaya, 2002: *Proc. inter. sympo. on Yellow River hydrology.* March 2003.
- 山谷 亨, 2003: 東アジアにおける夏季降水量の長期変動傾向, 筑波大学第1学群自然科学類卒業論文, 64pp.
- 西山いずみ, 2002: ケッペン気候区分の分布変化から見た北米・アジア・ヨーロッパの気候変化, 筑波大学環境科学研究科修士論文.