大気陸面相互作用と土壌水分特性を利用した極端現象の準季節予報スキル

Land -Atmosphere Interaction and
Sub-Seasonal Forecast Skill of an Extreme Weather Event associated with Land Surface Initializations

北海道大学大学院工学研究科　准教授　○正会員　山田朋人(Tomohito Yamada)
NASA Goddard Space Flight Center, Global Modeling and Assimilation Office　非会員　Randal D. Koster
東京工業大学情報理工学研究科 准教授　正会員　鼎信次郎(Shinjiro Kanae)
東京大学生産技術研究所　教授　正会員 沖大幹(Taikan Oki)

1. はじめに

天気予報の精度は気温，風速，比湿等のいわゆる大気過程の予報変数の影響を受けるものであるが，予報精度の信頼性は最大でも 10 日程度である (Kimoto et al. 1992). それ以上の時間スケールにおいては，季節以上の長い時定数をもつ海面水温の正確な把握が予報精度の向上に貢献する (例えば Shukla 1998). この大気の初期値ならびに境界値の依存性は Ed Lorenz による大気のカオス的振る舞いの発見に端を発し (Lorenz 1963), 予測という立場においては大気の初期値による予測可能性を第一種予測可能性，大気にとっての境界値による予測可能性を第 2 種予測可能性として分類される (Lorenz 1982).

では我々が暮らす陸上には上で挙げた後者の第 2 種予測可能性を向上させる要素はないのだろうか. 近年の水文観測の充実化によって，土壌水分は 1～2 ヶ月程度のメモリを有することが判明してきた (Vinnikov and Yeserkepova, 1991). つまり海面水温ほどではないが，土壌水分にも第 2 種予測可能性を向上させる可能性が期待される.

では土壌水分は大気とどのような相互作用を有し，降雨量もしくは降雨パターンに影響を与えるのであろうか. 全球気候モデルにおいて Similarity Index という統計指標(Yamada et al. 2007)を用いた数値実験により，土壌水分偏差は北米中部の穀倉地帯，南アジア，アフリカ・サヘル地域，さらには東アジアの北東部といった半乾燥地域において夏の降水活動に影響を与えることが判明した (Koster et al. 2004). その原因として，これらの地域は蒸発量の日変動が多く，かつ対流性の降雨が卓越していることが指摘されている (Guo et al. 2006; 山田ら 2006).

本研究は土壌水分の初期情報が準季節予報のスキル向上をもたらすものであるのか明らかにすることを目的とする. 2 章において数値モデルならびに予報実験の概要を説明する. 3 章では予報実験の結果を示し，まとめを 4 章に記す.

2. モデルと実験設定

(1) モデル

本研究で使用した全球気候モデルは東京大学気候システム研究センター，国立環境研究所，地球環境フロンティア研究センターにおいて開発されている MIROC (Model for Interdisciplinary Research Climate) AGCM (Atmospheric General Circulation Model)である(K-1 model developers, 2004). 陸面過程には MATSIRO(Minimal Advanced Treatment of the Surface Interaction and RunOff)という植物の気孔抵抗や根層も考慮されたモデルが使用されている(Takata et al. 2003). MIROC は IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)において将来の温暖化予測に利用されている全球気候モデルである.

(2) 実験設定

実験期間は 1986～1995 年の 7，8 月であり，2 種類のアンサンブル予報実験(Series1, 2)から構成される.

Series1: 予報実験開始日の土壌水分，海面水温，大気場の初期値を用いる. 予報開始日は上記 10 年間の 7 月 1 日，7 月 15 日とし，各予報は大気初期値に擾乱を与えた 10 個のアンサンブル実験により行われる.

Series2: 予報実験開始日の海面水温，大気場の初期値を用いる. 予報開始日ならびにアンサンブル数は Series1 と同じとする. ただし Series1 とは異なり，初期値に用いる土壌水分を対象とする年を含む 1986～1995 年の同じ日(例えば 7 月 1 日)からそれぞれ選択する. つまり Series1 と Series2 ではそれぞれ 10 個あるアンサンブルで使用する土壌水分初期値全て正しいものであるのか(Series1)，それとも 1 つだけ正しいものであるか(Series2)の違いとなる.

(3) 土壌水分データ

北米大陸やシベリアの一部を除き，時空間スケールともに高密度の土壌水分データは存在しない. そこで人工衛星や現地観測によって得られる降水データと，大気再解析データを陸面モデルに与えることで計算される土壌水分を真値として上記の予報実験に用いた. 大気再解析データは全球気候モデルの計算値を世界中で毎日定時に行われる大気中の観測データで同化させることで得られる準観測データである.

(4) 海面水温データ

本研究は予報実験という趣旨を有するため，土壌水分，大気場，海面水温データは初期値としての観測もしくは準観測値以外は，予報期間中に観測値を利用することは適当ではない. そこで，予報期間中に大気に下部境界値として与える海面水温は著者らによって作成された予報値を使用することとした. この海面水温データは予報の経過とともに前の月との自己相関を失い，最終的には気候値に向かう特性をもつ. データは現在，NASA Goddard Space Flight Center のホームページ上で公開されている.

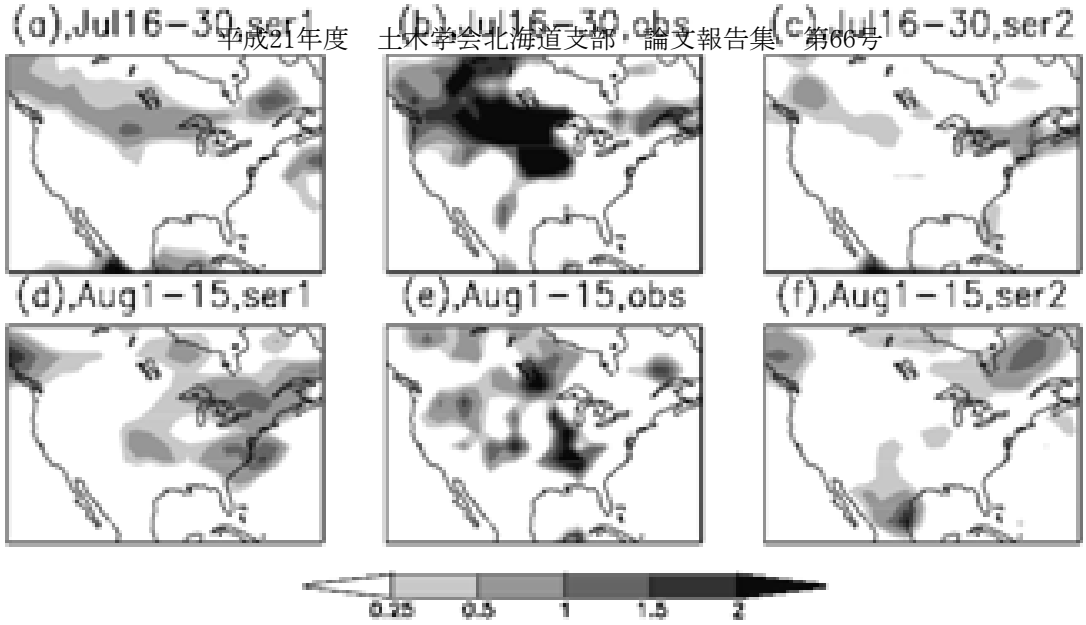

図 1: 1993 年 7 月 16～30 日(a～c), 8 月 1～15 日(d～f)における降水量と 1986～1995 年の同期間における降水量の偏差(mm/day). 図-b, -e は Global Precipitation Climatology Project(GPCP)による降水量観測値の偏差を示す. 図-a, -d は Series 1 における大気, 海面水温に加え土壌水分の初期情報を, 図-c, -f は Series 2 における大気, 海面水温の初期情報をそれぞれ用いた結果. Series 1, 2 ともに予報開始日は上段の図では 1993 年 7 月 1 日, 下段は 7 月 15 日であり, 得られた結果は予報開始後 3～4 週目となり, 大気メモリは期待されない期間となる.

3. 結果

1993 年夏, 米国ミシシッピー川流域は大洪水にみまわれ, 浸水面積は我が国の面積の 20%以上の 80,000km2 と未曽有の大惨事となった. 本研究で着目する土壌水分の初期情報がこのいわゆる極端現象を予報する上でどの程度貢献するのであろうか.

図-1 は 1993 年 7 月 16～30 日(a～c), 同年 8 月 1～15 日(d～f)における Series1 ならびに 2 の予報結果と観測値による降水量の偏差を示す. この偏差とは Series1, 2, 観測値それぞれにおける対象期間の降水量と 1986～1995 年の同期間の降水量との差となり, 図中の色が濃いほど 1993 年は例年よりも雨が多いことを意味する. 図中の上段は 7 月 1 日, 下段は 7 月 15 日が予報開始であるため, ここで議論される結果は予報開始後 3～4 週間目, つまり大気メモリの影響が期待できない時間スケールとなる.

図 1-b, -e の観測値が示すとおり, 1993 年 7 月後半から 8 月上旬にかけてミシシッピー川流域における降水量は例年よりも大きいことがわかる. 一方, 大気と海面水温のみの初期情報を利用した予報実験(Series2)では, 正の降水量偏差がみられる地域が少なく, その値も小さい. これに対し, 大気, 海面水温に加え土壌水分の初期情報を利用した Series1 ではミシシッピー川流域において正の降水量偏差が予報される地域が複数確認でき, その地域分布や偏差の大きさも Series2 よりも観測値に近づくことがわかる.

4. まとめ

本研究により, 土壌水分初期情報の高度利用は 1993 年夏にミシシッピー川流域を襲った大洪水の原因となる降水量偏差の予報スキルに貢献しうることが判明した. ここで強調すべきことは, 1) 大気メモリの影響が失われる予報開始後 3～4 週目の予報スキルを向上させ, 2) 治水・利水両面において重要である極端現象予報に土壌水分の初期情報が有用であることである. 著者らの別の解析によって北米大陸で 1988 年に発生した大旱魃の準季節予報スキルの向上にも土壌水分の初期情報は影響を与えることが指摘されている (Yamada et al. submitted to JSCE, accepted). 今後は極端現象をもたらす物理的要因ならびに, 他の地域における極端現象の準季節スケールの予報スキルと土壌水分との関係について分析を行う予定である.

謝辞:

GCM を用いた数値計算は 国立環境研究所のスーパーコンピュータ(NEC SX-8)を利用して行われたものである.

参考文献

1) Kimoto, M., H. Mukougawa, and S. Yoden, 1991: Medium Range Forecast Skill Variation and Blocking Transition. *Mon. Wea. Rev.*, **120**, 1616-1627.
2) Shukla, J., 1998: Predictability in the Midst of Chaos: A Scientific Basis for Climate Forecasting. *Science*, **282**, 728-731.
3) Lorenz, E.N., 1963: Deterministic Non Periodical Flow, *J. Atmos. Sci.*, **20**, 130-141.
4) Lorenz, E.D., 1982: Atmospheric Predictability Experiments with a Large Numerical Model. *Tellus*, **34**, 505-513.
5) Vinnikov, K.Y. and I.B. Yeserkepova, 1991: Soil Moisture, Empirical Data and Model Results. *J.*

Climate, **4**, 66-79.

6) Yamada, T.J., R.D. Koster, S. Kanae, and T. Oki, 2007: Estimation of Predictability with a Newly Derived Index to Quantify Similarity among Ensemble Members. *Mon. Wea. Rev.*, **135,** 2674-2684.
7) Koster, R.D. and GLACE team, 2004: Regions of Strong Coupling between Soil Moisture and Precipitation. *Science*, **305**, 1138-1140.
8) Guo, Z. and GLACE team, 2006: GLACE: The Global Land-Atmosphere Coupling Experiment. Part II: Analysis. *J. Hydrometeor.*, **7**, 611-625.
9) 山田朋人, 鼎信次郎, 沖大幹, 2006: 降水変動に与える陸面影響度の季節性. *土木学会水工学論文集*, **50**, 541-546
10) K-1 Model Developers, 2004: K-1 Coupled GCM (MIROC) Description. *K-1 Technical Report No. 1*, September.
11) Takata, K., S. Emori, and T. Watanabe, 2003: Development of the Minimal Advanced Treatments of Surface Interaction and Runoff (MATSIRO). *Global Planetary Change*, **38**, 209-222.
12) Yamada, T.J., R.D. Koster, S. Kanae, and T. Oki, Hydrological Forecast Skill Associated with Land Surface Initializations. *Submitted to Journal of Hydraulic Engineering, JSCE* (accepted).