

陸面過程モデルによる 土壌水分量推定値の季節変動・年々変動の精度評価

萬和明*・田中賢治・中北英一

*京都大学大学院工学研究科

要旨

GSWP2の枠組みにおける陸面過程モデルSiBUCの陸面オフライン計算によって全球土壌水分分布が推定されている。これらプロダクトの推定精度の検証を実施した。GSMDBの土壌水分現地観測値との月平均値・年偏差間の相関係数を算出し、モデル推定値の季節変動・年々変動の精度評価を実施した。イリノイ・ロシア西部・華北平原で良好な精度が得られていることが明らかとなった。一方、精度が十分でない領域が存在することが明らかとなったが、これら領域は内陸部の年降水量の少ない乾燥・半乾燥地域であった。

キーワード： 土壌水分，陸面過程モデル，季節変動，年々変動，精度評価

1. 序論

土壌水分が大気・地表面間のエネルギー・水収支を通して、気候形成やその変動に寄与するという研究成果が報告されている(例えばKoster et al., 2004)。季節スケールから年々スケールといった気象予測精度向上のためには、土壌水分量の把握が有効な手段となる。そこで、効果的な気象予測精度の向上のため、観測値を元にした気象強制力を陸面過程モデルに与え、全球土壌水分量分布を算出しようというプロジェクトGSWP(Global Soil Wetness Project)が実施されている。

全球土壌水分プロジェクトは第2期が終了しており(Dirmeyer et al., 2002)、いくつかの研究報告がなされている(例えばDirmeyer et al., 2006)。Yorozu et al. (2005)は、陸面過程モデルSiBUC(Simple Biosphere including Urban Canopy)(Tanaka, 2004)を用いてGSWP2に参加し、灌漑の効果を考慮した土壌水分量分布を独自に推定している。Guo et al. (2006a, 2006b)は、GSWP2に参加した15の陸面過程モデルによる土壌水分量推定値を観測値と比較し、土壌水分量の季節変動・年々変動の精度評価をしている。しかし、Guo et al. は、各々の観測点で土壌水分量の推定値と観測値の相関係数を算出し、それらをいくつかの領域にまとめ、領域

における相関係数の中央値で精度評価をしている。

そこで、本稿では、陸面過程モデルにより推定された土壌水分量の季節変動・年々変動の推定精度を、各々の観測点で考察していく。特に、降水量が土壌水分量の推定精度に大きな影響を及ぼすと考えられるため、陸面過程モデルに対する入力値としての降水量の精度と、土壌水分量の推定精度の関係について考察する。また、特に推定精度がよくない観測点において、その原因となる要素を追求していく。

2. 陸面過程モデルによる土壌水分量推定

2.1 SiBUCの概要

SiBUCはSiB(Simple Biosphere)をベースに開発されてきた陸面過程モデルである(田中ら, 1994)。SiBUCが表現できる地表面構成要素は、複数の植生ばかりでなく、都市域や河川・湖沼等の水体にも及ぶ。FAO統計値(Food and Agriculture Organization of the United Nations, available at <http://faostat.fao.org/>)とTurner et al. (1993)によると、全球規模で考えれば、陸域に占める都市・水体の割合は、それぞれ約1.8%・2.7%であり、植生割合に比べ都市・水体の割合は小さく、従来の陸面過程モデルでは省略されてきた。しかし、都市・水体の水・熱収支特性は植生地の特性とは全く

Table. 1 List of variables used in eq. (1)-(3) and Fig. 2

変数	定義	単位
W_i	Soil Moisture of i th layer	–
D_i	Soil Depth of i th layer	m
θ_s	Porosity	–
ρ_w	density of water	Kg m^{-3}
E_s	Direct evaporation from surface soil layer	$\text{kg m}^{-2}\text{s}^{-1}$
$E_{dc,i}$	abstraction of soil mopisture by transpiration	$\text{kg m}^{-2}\text{s}^{-1}$
P_1	Infiltration of precipitation into surface soil layer	m s^{-1}
$Q_{i,i+1}$	Flow between soil layer	m s^{-1}
Q_3	Gravitational drainage from recharge layer	m s^{-1}

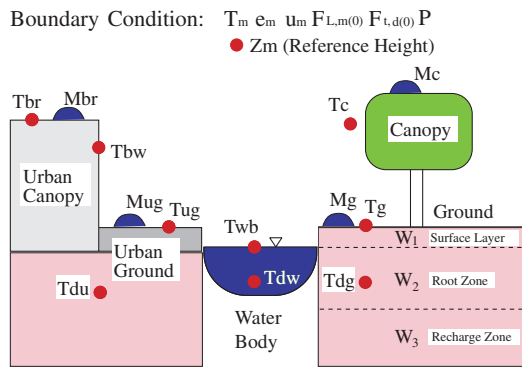


Fig. 1 Schematic image including prognostic variables of SiBUC

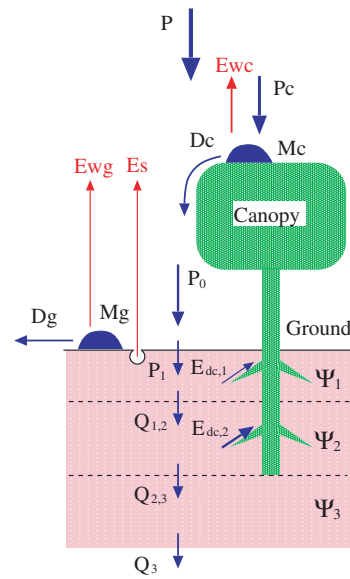


Fig. 2 Schematic image of water budget in vegetation sub model of SiBUC

異なるため、都市・水体が存在する影響が小さいとは言いきれない。そこで、陸面過程モデルの精度を向上させることを目的に、従来まで考えられてきた植生モデルに都市・水体の効果を加えたモザイクモデルとして開発されたのがSiBUCである。Fig. 1にSiBUCの概念図と予報変数を示す。

Fig. 2にSiBUCの植生モデルにおける水収支概念図を示す。SiBUCでは土壌は3層で表現され、各層の土壌水分量はRichards式(Richards, 1931)によって表現されている。式(1)-(3)に土壌水分量の支配方程式を示し、また、同式とFig. 2に使用されている変数の説明をTable. 1に示す。

$$\frac{\partial W_1}{\partial t} = \frac{1}{\theta_s D_1} \left[P_1 - Q_{1,2} - \frac{1}{\rho_w} (E_s + E_{dc,1}) \right] \quad (1)$$

$$\frac{\partial W_2}{\partial t} = \frac{1}{\theta_s D_2} \left[Q_{1,2} - Q_{2,3} - \frac{E_{dc,2}}{\rho_w} \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial W_3}{\partial t} = \frac{1}{\theta_s D_3} [Q_{2,3} - Q_3] \quad (3)$$

2.2 土壌水分量推定値

陸面過程モデルSiBUCを用いた土壌水分量分布は、日単位で算定されている。本稿では、GSWP2の枠組みのもと、時間間隔1時間、全球陸域1度グリッド、1986-1995年の10年間を対象とした数値計算を実施し、土壌水分量分布を算定した。SiBUCに与えるデータはISLSCP-IIのデータセット(Hall et al., 2004)がGSWP2から提供されており、基準実験であるB0実験のデータを用い、3時間の気象強制力を1時間間隔に、月単位の植生データを1日間隔のデータにそれぞれ線形内挿して用い、土壌データは固定値を用いている。

スピンアップとして、本計算とは別に、地表面水分ゼロ・土壌水分75%の初期条件で、1982年7月から1985年末までの3年半に及ぶスピンアップ期間を設けている。これは、本論文の解析対象グリッドでは、土壌水分量の値が落ち着くのに十分な期間である。

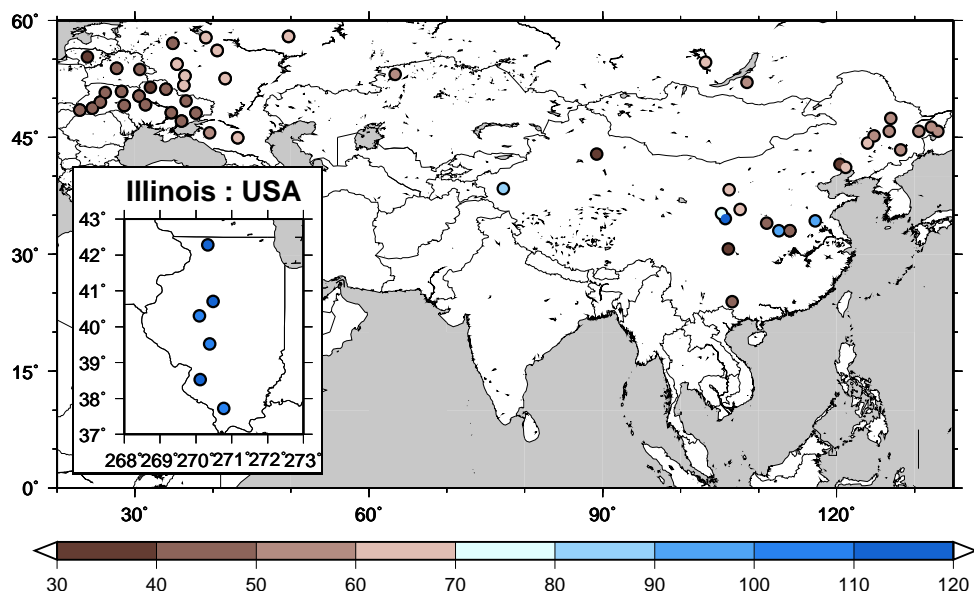


Fig. 3 Soil moisture observation sites about Global Soil Moisture Data Bank used in this study. The shades show monthly observation number during 1986-1995.

本稿では、GSWP2の結果としては、B0実験と呼ばれる基準実験の土壌水分量推定値を用いる。

3. 解析に用いるデータ

3.1 土壌水分量観測値

土壌水分量の観測値として広く知られているのが、Global Soil Moisture Data Bank (GSMDDB: Robock et al., 2000)である。GSMDDBには世界各地の土壌水分量の観測値が集められている。観測値はデータソース毎にいくつかの領域にまとめられ、観測期間や観測頻度などはデータソース毎にまちまちである。本稿では、土壌水分量の観測期間がGSWP2の対象年(1986-1995年)と重なり、後述するNCDC観測値が得られる、イリノイ・アメリカ、中国、ロシアの3領域の観測値を利用する。なお、ロシアのデータは、同じ観測点で春穀物と冬穀物の2種類が観測されている。領域毎の観測地点数はそれぞれ、イリノイ・19地点、中国・40地点、ロシア・171地点である。

3.2 月平均値・年偏差時系列の算出

GSMDDBから得られる土壌水分量観測値は、領域毎に観測される深さが異なり、観測する土層の数も異なっている。イリノイでは11層・200cm、他の領域では100cmである。そこで、本稿では100cmまでの鉛直積算土壌水分量を対象とし、精度評価に用いる。

毎月の観測頻度もまた領域毎に異なっているが、おおよそ1-3回程度である。しかし、欠損期間も存在しており、対象とする深度まで土壌水分量が得られ

ていない期間も存在する。本稿では、100cm(インドでは60cm)までの観測値が得られたときのみ、観測値をその月の平均値と考える。同一月に複数回観測値が得られた場合は、それらの平均を月平均値とする。統計的に処理するため30ヶ月以上(全期間の4分の1以上)の観測値が得られた観測地点を、土壌水分量の精度検証の解析対象とする。

SiBUCの土層厚はグリッド毎に異なるが、各グリッドは100cm以上の土層厚を有している。そこで、土壌水分量推定値として、表層から100cm(インドでは60cm)までに相当する土壌水分量を求め、検証に用いた。なお、モデル出力値の月平均値は、算定された日単位の値を平均した「月平均値」ではなく、観測値が得られた時のモデル出力値のみの平均をモデルの月平均値としている。

このようにして算出された月平均値は、最大120ヶ月分である。これらの値から、10年分の平均的な年周期を算出する。そして、月平均値からこの平均的な年周期を引き、平均的年周期からのずれ、すなわち年偏差の時系列を求めた。この偏差は、ある月あるいはある季節の年々変動を示すものである。したがって、観測値とモデルの月平均値の相関は、モデルの季節変動の再現精度を表しており、観測値とモデルの年偏差間の相関は、モデルの年々変動の再現精度を表現している。

3.3 降水量観測値

降水量プロダクトは数多く公開されている(谷田貝, 2007)が、本稿では National Climatic Data Center

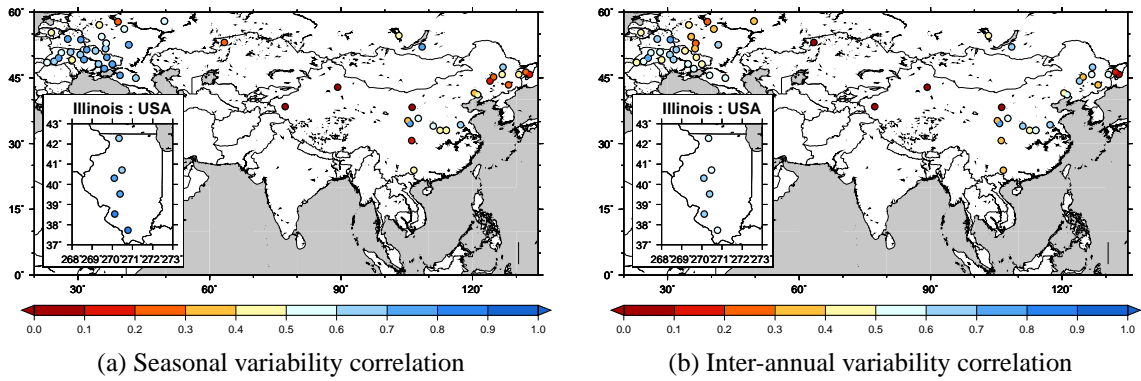


Fig. 4 Correlation coefficient of soil moisture between observation (GSMDDB) and Estimation (B0:GSWP2).

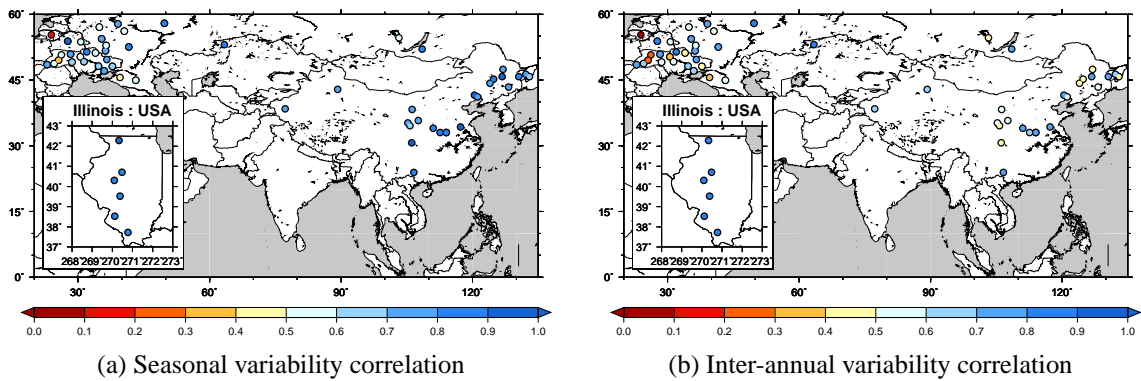


Fig. 5 Correlation coefficient of precipitation between observation (NCDC) and input data (B0:GSWP2).

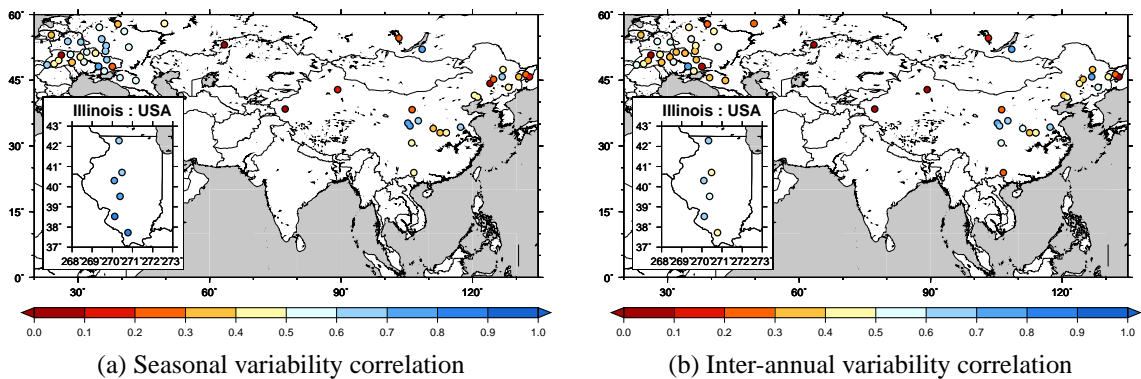


Fig. 6 Correlation coefficient of soil moisture between observation (GSMDDB) and Estimation which is calculated using NCDC precipitation alternative to GSWP2.

(NCDC)のGlobal surface summary of day data v.7の日降水量データを用いる。同データには、24528地点の観測地点があり、1929年から現在までのデータがアーカイブされている。本稿では、1986-1995年のデータで、毎月25日以上観測値が存在する観測地点のデータを解析対象とした。

3.4 解析対象グリッド・観測地点

SiBUCによる土壌水分量推定値は、水平解像度1度(約100km)である。しかし、土壌水分量・降水量は

ともに地点データである。すなわち、モデル出力値と観測値を単純に比較すると、水平スケールに大きな違いがあり、観測値のグリッド代表性の問題が発生する可能性が指摘されており、解析時に注意が必要である。

モデルで表現している各グリッドにおいて、土壌水分量観測地点、降水量観測地点がともに存在するグリッドを抽出し、本稿における解析対象グリッドとする。Fig. 3に、本稿における解析対象地点を示す。解析対象は計80地点である。

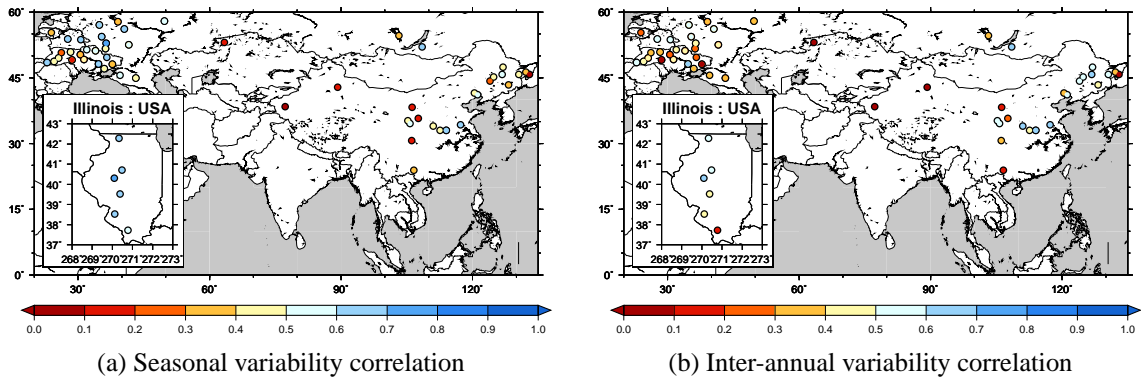


Fig. 7 Correlation coefficient of soil moisture between observation (GSMDDB) and Estimation which is calculated using soil property of sand.

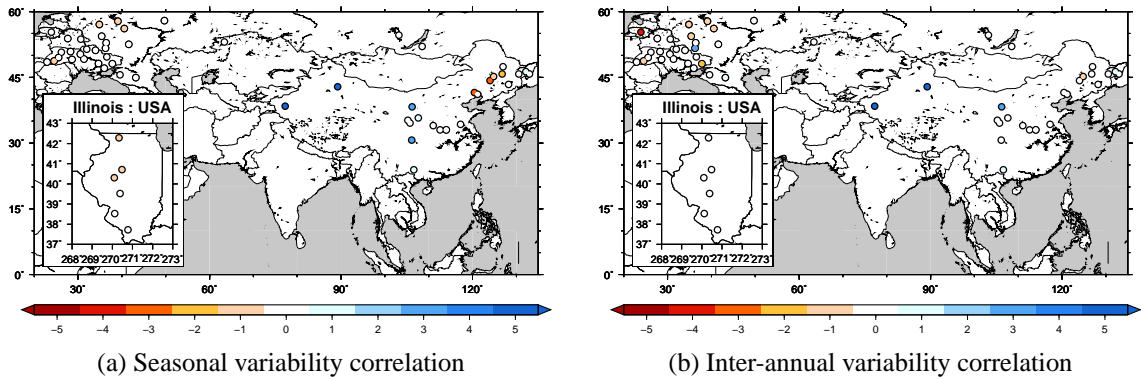


Fig. 8 Lag months in which highest correlation is shown between observation (GSMDDB) and Estimation.

4. 土壤水分量推定値の精度評価

4.1 季節変化・年々変動の時系列変化

本節では、SiBUCによってGSWP2のB0実験において推定された土壤水分量の精度評価を行う。土壤水分量のGSMDDB観測値とモデル推定値の、月平均値の相関と年偏差間の相関を示したのがFig. 4である。イリノイでは月平均値・年偏差間の相関ともに高く、季節変動・年々変動の再現精度がよいことがわかる。ロシア西部でも月平均値の相関は高いが、年偏差間の相関に関しては、北方ほど相関が低くなっている。中国では、華北平原においては月平均値・年偏差間の相関ともに比較的高い値となっているが、他の地域では特に内陸部を中心に相関が非常に低い値となっている。

4.2 入力値としての降水量精度

土壤水分推定値は入力値である降水量の影響を強く受ける。そこで、入力値としての降水量の精度を検証した。Fig. 5に、NCDC降水量とGSWP2入力の降水量との月積算値と年偏差間の相関を示す。同図に

よると、全体的に季節変動・年々変動の精度はともに良好である。

また、他の入力値・パラメータはGSWP2のB0実験と同条件で、月降水量にNCDC観測値を用いた感度実験を実施し、土壤水分量を新たに推定した。しかし、概して土壤水分量の推定精度が改善されることはなかった (Fig. 6)。

このことから、入力値としての降水量は十分な精度を有しており、土壤水分量の推定精度が下がっている要因は、降水量の誤差によるものであるとは考えられない。

4.3 土壤特性一様

本節では、土壤水分量の推定精度に与える誤差要因として、土壤パラメータを考える。そこで、入力値・土壤パラメータ以外をGSWP実験と同様に設定し、土壤特性を全球一様でsand, clay, siltに固定した実験を実施した。これらの実験結果のうち、sand実験による推定土壤水分量とGSMDDBとの相関を示したのがFig. 7である。同図から明らかなように、土壤特性を変更することで、土壤水分量の推定精度が

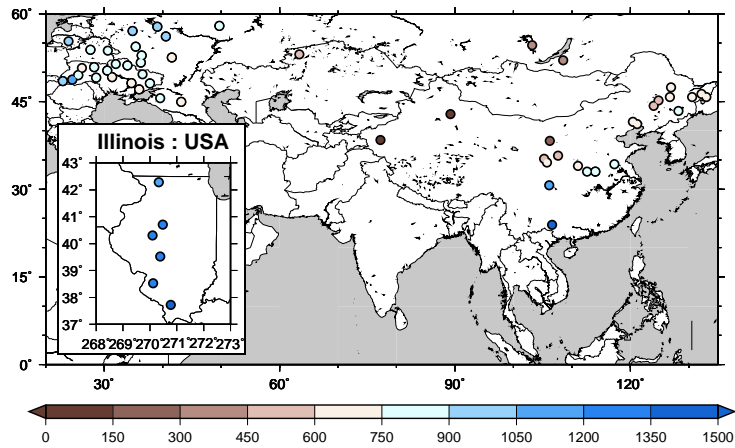


Fig. 9 Annual Precipitation about input data set in GSWP2 B0 experiment.

向上することはなく、逆に精度が悪くなる傾向にある。このことから、GSWP2によって与えられている土壌特性は概ね適切なものと見なせる。したがって、土壌特性の設定誤差、あるいはその空間代表性に起因する誤差によって、土壌水分量の推定精度が悪化しているとは判断できない。

4.4 土壌水分推定値と観測値のラグ相関

GSWP2のB0実験におけるSiBUCの土壌水分推定値とGSMDB観測値との月平均値の相関のラグ相関をとり、もっとも相関が高かったラグ(月単位)を示したのがFig. 8である。この値が0に近いほど推定値の時系列変化が観測値と似通っていることを示すものとする。同図によると、土壌水分推定値の精度が良くない地点ほどラグが大きくなる。つまり、モデルによる土壌水分の時系列変化が十分に表現できていないことを表している。

Fig. 9に平均年降水量を示す。土壌水分の推定精度が良くない地点は降水量の比較的少ない乾燥・半乾燥地域とほぼ一致することがわかる。

5. 結論

GSWP2のB0実験においてSiBUCが推定した土壌水分量の季節変動・年々変動の精度をGSMDB観測値を用いて検証した。SiBUCが推定による土壌水分推定値はイリノイやロシア、華北平原において概ね良好な精度が得られていることがわかった。しかし、内陸部において推定精度が十分でない地点が存在することがわかった。これらの地域は年降水量の少ない乾燥・半乾燥地域であり、これら地域を中心によりいっそうの陸面過程モデルによる土壌水分の推定精

度の向上が望まれる。

参考文献

- 田中賢治・池淵周一(1994): 都市域・水体をも考慮した蒸発散モデルの構築とその琵琶湖流域への適用, 京都大学防災研究所年報, 第37号B-2, pp.299-313.
- 谷田貝亜紀代(2007): 水循環解析一データの作成と利用, 天気, vol.54, pp999-1002.
- 萬和明, 田中賢治, 池淵周一: NDVI時系列解析による全球作物分類図の作成, 水工学論文集, 第49巻, pp379-384, 2005.
- Dirmeyer, P.A., X.Gao, T.Oki (2002): The second global soil wetness project (GSWP-2) science and implementation plan, IGPO Publication Series No.37.
- Dirmeyer, P.A., X.Gao, M.Zhao, Z.Guo, T.Oki and N.Hanasaki (2006): The Second Global Soil Wetness Project (GSWP-2): Multi-model analysis and implications for our perception of the land surface, Bulletin of American Meteorological Society, vol.87, pp.1381-1397.
- Guo, Z. and P.A.Dirmeyer (2006a): Evaluation of the Second Global Soil Wetness Project soil moisture simulations: 1. Intermodel comparison, J. Geophys. Res., vol.111, D22S02.
- Guo, Z., P.A.Dirmeyer, Z.-Z.Hu, X.Gao, and M.Zhao (2006b): Evaluation of the Second Global Soil Wetness Project soil moisture simulations: 2. Sensitivity to external meteorological forcing, J. Geophys. Res., vol.111, D22S03.

- Hall, F.G., B.Meason, S.Los, L.Steyaert, E.Brown de Colstoun, D.Landis (2004): eds.ISLSCP Initiative II. NASA. DVD/CD-ROM.NASA.
- Koster, R.D., P. A. Dirmeyer, Z. Guo, G. Bonan, E. Chan, P. Cox, C. T. Gordon, S. Kanae, E. Kowalczyk, D. Lawrence, P. Liu, C. -H. Lu, S. Malyshev, B. McAvaney, K. Mitchell, D. Mocko, T. Oki, K. Oleson, A. Pitman, Y. C. Sud, C. M. Taylor, D. Verseghy, R. Vasic, Y. Xue, T. Yamada (2004): Regions of strong coupling between soil moisture and precipitation, *science*, vol.305, pp.1138-1140.
- Richards, L. A. (1931): Capillary Conduction of Liquids through Porous Mediums, *Physics*, vol.1, pp.318-333.
- Robock, A., Konstantin Y. Vinnikov, et al. (2000): The Global Soil Moisture Data Bank. *Bulletin of American Meteorological Society*, vol.81, pp.1281-1299.
- Sellers, P.J., Mintz, Y., Sud, Y.C. and Dalcher, A. (1986): A simple biosphere model (SiB) for use within general circulation models, *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol.43, No.6, pp.505-531.
- Tanaka, K. (2004): Development of the new land surface scheme SiBUC commonly applicable to basin water management and numerical weather prediction model, doctoral dissertation, Kyoto University.
- Turner, B.L., R. H. Moss and D. L. Skole (1993): Relating Land Use and Global Land-Cover Change: A Proposal for an IGBP-HDP Core Project, *IGBP Report*, No. 24.
- Yorozu, K., K. Tanaka, S. Ikebuchi (2005): Creating a global 1-degree dataset of crop type and cropping calendar through the time series analysis of NDVI for GSWP2 simulation considering irrigation effect, Proc. of 85th AMS Annual Meeting, 19th conference of Hydrology, 6.8 (CD-ROM).

Evaluation of the Accuracy on Seasonal or Inter-annual Variability of Soil Moisture Estimates by LSS

Kazuaki YOROZU*, Kenji TANAKA and Eiichi NAKAKITA

*Graduate school of engineering, Kyoto University

Synopsis

Integration of one-way uncoupled SiBUC (Simple Biosphere including Urban Canopy) land surface model has produced global soil moisture field under the framework of the 2nd Global Soil Wetness Project (GSWP2). One of advantages of GSWP2 products is the most accurate global land surface hydrological data set in available. Thus, these global products should be applied to land-atmosphere interaction study. To do this, it is important to understand spatial or temporal accuracy on calculated soil moisture field. Global soil moisture field calculated by SiBUC is compared with soil moisture observation data provided from Global Soil Moisture Data Bank. It is confirmed that estimated soil moisture has adequate accuracy on inter-seasonal or annual scale.

Keywords: Soil Moisture, Land surface model, Seasonal variability, Inter-annual variability, Evaluation