

## 地表面状態量アンサンブル推定と数値気象モデルを融合した短時間強雨予測手法の構築

Development of short-term rainfall prediction including an ensemble estimation scheme of land surface state

山梨大学 准教授 相馬一義

### (研究計画ないし研究手法の概略)

#### 1. 研究の背景と目的

近年日本では短時間強雨被害が多発し、深刻な問題となっている。特に都市域では、非常に狭い範囲に短時間で強い雨をもたらす、局地的大雨（ゲリラ豪雨）による被害が多く報告されている。局地的大雨は晴れた状態から急激に発生・発達する積乱雲によりもたらされるため予測が難しいことが指摘されており、その改善が急務である。都市と郊外の気温差によって局地的大雨が強化される可能性が指摘されており、気温差の原因となる地表面温度について、都市と郊外の差を気象予測に取り入れる必要がある。

以上を踏まえて本研究課題では、最先端衛星リモートセンシングと現地直接観測を駆使し、都市と郊外の地表面状態量推定（地表面温度）を行い、アンサンブル予測手法を用いて信頼性の高い地表面状態量推定を行う。さらに推定した地表面状態量を降水予測手法に導入する方法を検討し、短時間強雨予測精度の向上への活用を目指す。

#### 2. 研究計画と研究手法の概略

##### ・地表面状態量推定手法

代表者らは静止気象衛星観測による高解像度日射量推定値及び高解像度の客観解析データを導入し、陸面過程モデル SiBUC (Tanaka et al. 2004) を用いて地表面状態量（地表面温度）を推定する手法を構築してきた（図 1）。

大気境界条件を与えるために以下のデータを用いる。まず日射量については、静止気象衛星ひまわりから推定したデータ (EXAM; Takenaka et al., 2011) を用いる。太陽放射コンソーシアムより 1km 間隔、30 分毎の日本域データを取得し、毎正時のデータを抽出した。1 時間毎の 3 次元風速・気温・気圧・湿度・水蒸気圧・下向き長波放射については、気象庁メソ客観解析データ（空間解像度 5km）から初期値（3 時間毎）を抽出し、1 時間ごとに線形内挿して用いる。さらに、降水量については気象庁解析雨量データ（空間解像度 1km、30 分毎）について毎正時のデータを抽出して用いる。これらのデータは先行研究 (Kotsuki et al. 2015) でも導入されているが、先行研究では等緯度経度座標に限定した推定を行っていたのに対し、本研究課題で用いる手法では任意のグリッドに対応可能となっている。

また本手法では、人工顕熱排熱量分布については野依ら (印刷中) による推定値を、建物階数割合分布については ESRI Japan が提供する ArcGIS Data Collection 詳細地図 2011 (株式会社ゼンリン Zmap-AREA II (2010-2 版) に基づく) に基づいて設定する。このような詳細な都市活動データの活用も、先行研究 (Kotsuki et al. 2015) と比較して新規な点である。

人工的土地被覆（アスファルト・建物等）を含む土地利用については国土地理院による国土数値情報（2009年調査に基づく）より各グリッドセル内の人工的土地被覆，混合林，草地，畑地，水田，水面が占める割合を計算した．標高データには USGS の GTOPO30 を，葉面積指数，砂・粘土の割合，土層及び根層の厚さ，植生カバー率，緑葉率については Ecoclimap (Champeaux et al. 2005)による値を，海水温には GHRSSST を用いた．初期の土壌水分量については岐阜大学高山試験地における 2018 年 8 月の観測データを検討した結果，根層において十分に湿潤な値（飽和度で 0.9）を一様に与えこととした．初期の地表面温度については大気最下層の気温と同じとして与える．

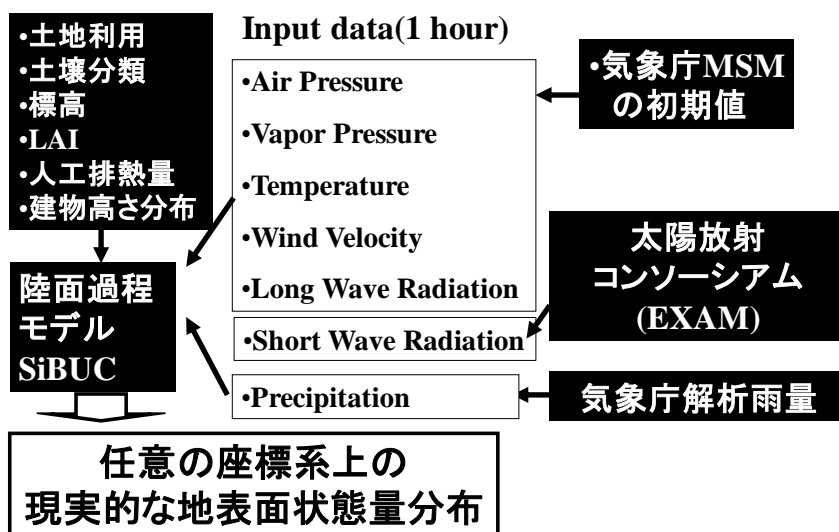


図 1 現実的な地表面状態量推定手法.

#### ・地表面状態量の不確実性評価とアンサンブル推定

本研究課題では，神戸市において代表者らが行った観測と比較して地表面状態量推定手法の不確実性を評価する．具体的には都市パラメータ（建物の屋根面アルベド）に対する屋根面温度の不確実性を観測値と比較し，ベイズ推定を用いてパラメータが取りうる事後確率分布を推定する．

代表者らは 2016 年 2 月から神戸市と協力し，2019 年 5 月まで神戸市立住吉小学校屋上にて地表面状態量現地観測（顕熱・潜熱・放射フラックス及び建物表面温度・建物侵入熱等）を行い，2019 年 7 月以降は神戸市立住吉小学校屋上に場所を移して観測を継続中である．本研究課題では 2018 年 8 月の住吉小学校屋上における上向き長波放射（熱赤外線）量から得られた屋根面温度観測値を用いる．

さらに不確実性評価で得られた事後確率分布を用いて，都市パラメータ（建物の屋根面アルベド）を変化させた地表面状態量分布アンサンブル推定を行う．地表面状態量，特に地表面温度分布について，アンサンブル平均値を計算する．最後に，地表面状態量アンサンブル推定結果を，研究代表者らが構築してきた短時間強雨予測システムへ導入する手法について検討を行う．

## (実験調査によって得られた新しい知見)

### 3. 地表面状態量の不確実性評価

本研究では 2018 年 8 月から下向き短波放射量が十分な晴天日を抽出し、2018 年 8 月 18 日を対象に地表面状態量推定の不確実性評価を行い、8 月 20 日を対象にアンサンブル地表面状態量推定を行い観測値と比較した検証を行う。2018 年 8 月には京都大学等によるゲリラ豪雨集中観測が神戸で行われており、将来的に気象予測実験を行う際の検証用データが豊富に得られることが期待される。

本研究では、Generalized Likelihood Uncertainty Estimation (GLUE; Beven and Binley, 1992 等)を参考に、パラメータに対する地表面状態量推定の不確実性を観測値と比較して評価する。パラメータとしては屋根面アルベド（短波放射（太陽放射）を反射する割合）を、不確実性を評価する予報変数は屋根面温度を選択する。その理由はまず、都市域の中でも屋根面が占める割合は大きくその温度が気象予測に影響を与える影響が大きいことである。次に、太陽放射をどれだけ反射（吸収）するかによって屋根面に入力されるエネルギーの総量が変わり、屋根面温度に大きな影響を与える可能性が高いことが理由として挙げられる。

ベイズ推定における事前確率として、屋根面アルベドとして 0.1（屋根面がアスファルトのような黒色に近い場合）から 1.0（屋根面が白色に近い場合）までの一様分布を仮定する。乱数を与えて 50 個の屋根面アルベドを生成し、高山ら（2016）による気象予測実験と同様に近畿地方について空間解像度 2km で地表面状態量推定手法を適用した（図 2）。生成された屋根面アルベドのヒストグラムを図 3 に示す。

観測点（神戸市立住吉小学校屋上）に中心座標が最も近い 2km×2km セルについて、屋根面温度時系列を切り出して観測値と比較した。日本標準時で前日の 21 時(世界協定時で 12 時)から 30 時間 計算を行い、最初の 3 時間をスピ

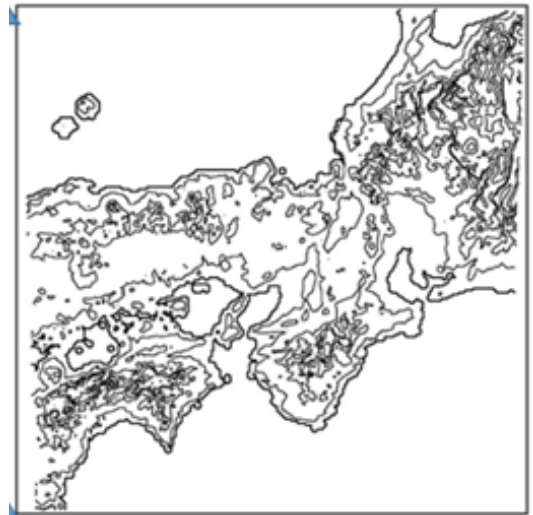


図 2 地表面状態量推定手法を適用する領域。

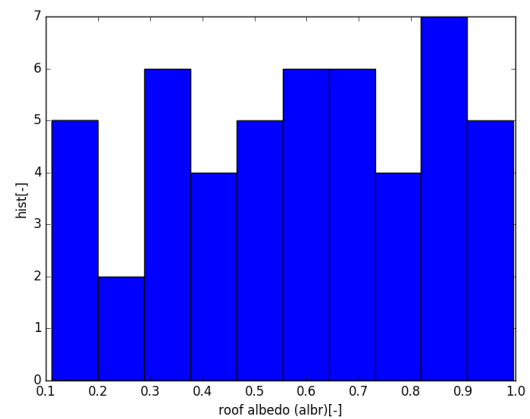


図 3 生成された屋根面アルベドのヒストグラム。

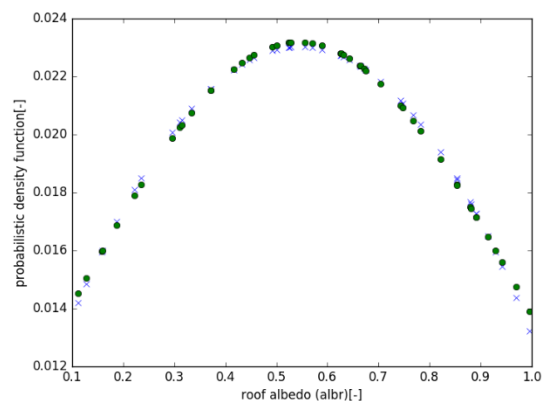


図 4 縦軸に Nash-Sutcliffe 係数から求めた尤度を、横軸に設定した屋根面アルベドをとったグラフ。青色の x が計算結果、緑色の o が切断正規分布をあてはめた結果。

ンアップ計算として切り捨てて、日本標準時で対象日の0時から23時まで切り出した。

50個の屋根面アルベドに対応する50メンバーの計算それぞれについて屋根面温度を観測値と比較してNash-Sutcliffe係数を算出した。Nash-Sutcliffe係数について50メンバーの最小値から1までで正規化し、50メンバーの積算値で除すことによって50個の尤度を求めた。縦軸に求めた尤度を、横軸に屋根面アルベドをとったグラフに対して切断正規分布をあてはめ(図4)、事前確率と掛け合わせることで事後確率分布を求めた。

#### 4. 地表面状態量分布アンサンブル推定

次に事後確率分布に従った乱数より生成された50個の屋根面アルベドを用いて、8月20日について50メンバーの地表面状態量アンサンブル推定を行った。屋根面アルベドが上位10%と下位10%に相当するメンバーと、各時刻について50メンバーをアンサンブル平均した時系列を観測値と比較した(図5)。アンサンブル平均値が観測値に近く、上位10%のメンバーと下位10%のメンバーの間に観測値が入っていることが確認でき、このアンサンブル計算が妥当であることが確認できる。

さらに、50メンバーの地表面温度分布についてアンサンブル平均した値を図6に示す。図6については屋根面温度を含む様々な土地被覆における表面温度を、土地被覆が2kmセル内で占める割合で重みづけ平均している。図6から、大阪・神戸等の大都市と郊外とで日中の地表面温度の差が表現されていることがわかる。

#### 5. 結論—本研究で得られた新しい知見—

本研究では代表者らがこれまで構築してきた地表面状態量推定手法を基に、観測値と比較したパラメータに対する不確実性評価を行い、不確実性評価を踏まえてパラメータを変化させて地表面状態量分布アンサンブル推定を行う手法を構築した。

将来的には推定された地表面温度について、代表者らが構築してきた都市域を考慮した豪雨推定手法の初期値として入力する(図7)ことを検討している。地表面温度の初期値を適切に与えることによって、特にゲリラ豪雨の降り始めにおいて降水強度分布の予測精度改善

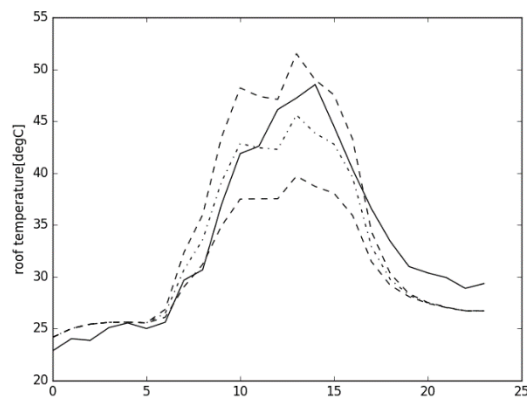


図5 屋根面温度時系列(2018年8月20日)。点線は屋根面アルベドが上位10%と下位10%に相当するメンバー。一点破線はアンサンブル平均値、実線は観測値を表す。

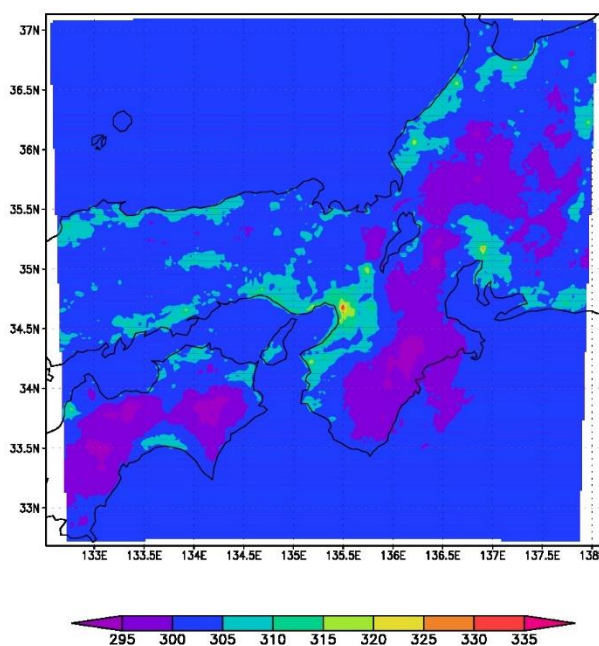


図6 2018年8月20日12時(日本標準時)の地表面温度分布のアンサンブル平均値(単位はK)。

が期待される（例えば相馬ら，2013）。

図7に示すシステムを最先端降水レーダー等による局地的大雨集中観測結果と比較・検証し信頼性を高めることで，早期の避難や止水板設置等の事前対策を促し，水災害被害軽減への貢献が期待される。

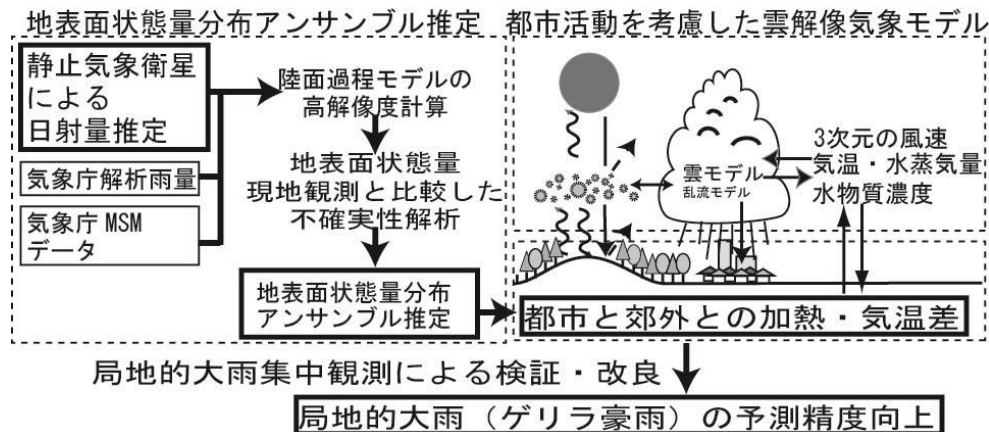


図7 地表面状態量分布アンサンブル推定と数値気象モデルを融合した短時間強雨予測手法。

#### 参考文献

- Takenaka, H., T. Nakajima, A. Higurashi, A. Higuchi, T. Takamura, P. Pinker, T. Nakajima: Estimation of solar radiation using a neural network based on radiative transfer. *Journal of Geophysical Research* 116: D08215. DOI: 10.1029/2009JD013337, 2011.
- Tanaka, K.: Development of the new land surface scheme SiBUC commonly applicable to basin water management and numerical weather prediction model, doctoral dissertation, Kyoto Univ., 2004.
- Kotsuki, S., Takenaka, H., Tanaka, K., Higuchi, A., Miyoshi, T.: 1-km-resolution land surface analysis over Japan: Impact of satellite-derived solar radiation, *Hydrological Research Letters* 9(1), pp.14-19, 2015.
- Champeaux, J. L., V. Masson and F. Chauvin: ECOCLIMAP: a global database of land surface parameters at 1 km resolution, *Meteorological Applications*, 12(1), pp. 29-32, 2005.
- Beven, K. and A. Binley: The future of distributed models: Model calibration and uncertainty prediction, *Hydrological Processes*, 6, pp.279-298, 1992.
- 高山拓哉，相馬一義，末次忠司：雲解像気象モデルを用いた都市発展が京阪神地方の気温に与える影響評価，*水文・水資源学会 2016年研究発表会要旨集*，pp.110-111，2016。
- 相馬一義，田中賢治，末次忠司，坪木和久，篠田太郎，榊原篤志，長谷川晃一，茂木耕作，中北英一：現実的な地表面状態量初期値が2008年に東京都で発生した局地的大雨へ与える影響，*土木学会水工学論文集*，第57巻（土木学会論文集 B1（水工学）），Vol.69, No.4），I\_343-I\_348，2013。

**( 発 表 論 文 )**

名生有希：気象予測への活用に向けた詳細な地表面状態量推定手法の構築に関する研究，  
山梨大学卒業論文，2020

野依亮介，相馬一義，高山拓哉，馬籠純，石平博，田中賢治：気象予測への活用に向けた  
日本全域の人工排熱量分布推定に関する検討，土木学会論文集 G（環境），印刷中