

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06230

研究課題名(和文) 高解像度地表面状態量推定を導入した短時間降雨予測手法の構築

研究課題名(英文) Development of short-term rainfall prediction including an estimation scheme of land surface state with high spatial resolution

研究代表者

相馬 一義 (SOUA, Kazuyoshi)

山梨大学・大学院総合研究部・准教授

研究者番号：40452320

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：近年、都市域での短時間強雨による深刻な被害が多発しており、都市と郊外の気温差(ヒートアイランド現象)がその一因として指摘されている。衛星リモートセンシングデータを活用した高解像度かつ正確な地表面状態量推定が、ヒートアイランド現象を取り込んだ気象予測に不可欠である。本研究では、高解像度日射量データ及び客観解析データを用いた高解像度(2km)地表面状態量推定を行い、短時間強雨予測に導入するシステムを構築した。構築した手法を用いて2016年8月5日を対象とした気象予測実験を行ったところ、高解像度地表面状態量推定導入により神戸及び姫路において最高気温予測結果が観測値に近づいた。

研究成果の概要(英文)：Recently, serious damages have been caused by short term heavy rainfalls over urban area frequently. It is indicated that the temperature difference between urban and suburban area (heat island phenomenon) can intensify the short term heavy rainfalls. Therefore, the high-resolution and accurate estimation of land surface state using satellite remote sensing data is expected to improve the weather prediction. In this research, we have developed a high-resolution (2 km) estimation method of land ground surface state quantity using satellite-derived solar radiation data and re-analysis data, to initialize weather prediction using a cloud resolving meteorological model. We conducted a weather prediction experiment on August 5, 2016 using the developed method and found that the predicted maximum temperature become closer to the observed value in Kobe and Himeji in the experiment introducing the high resolution land surface state estimation.

研究分野：水文学

キーワード：雲解像気象モデル 降雨予測 都市活動 大気陸面結合モデル 局地的大雨 大気陸面相互作用 高解像度地表面状態量推定

1. 研究開始当初の背景

晴れた状態から急激に発生・発達する短時間強雨は予測が困難で、近年都市域で大きな被害をもたらしている。都市域ではアスファルトなどの人工的土地被覆、クーラー等からの人工排熱による加熱の強化が郊外と都市域との気温差（ヒートアイランド現象）を増大し、都市域での上昇気流を強める。その結果、積乱雲が強化され、降水にも大きな影響を与える可能性が指摘されている。

そのため、ヒートアイランド現象を雲解像気象モデル（短時間強雨予測に用いられる数値気象モデル）で適切に表現することが、数時間先の短時間強雨予測精度向上につながると期待される。ヒートアイランド現象を適切に表現するためには、数値気象モデルの精緻化と同時に地表面加熱に関係する地表面状態量（郊外の緑地における土壌水分量、都市と郊外の地表面温度）の初期値をより高解像度かつ正確に与えることが重要となる。

研究代表者らはこれまで、レーダーによる降水観測、AMeDAS による地上気象観測網と陸面過程モデル SiBUC を組み合わせた地表面状態量推定し、それを日本における短時間強雨予測に導入するシステムを構築してきた（相馬ら 2006, 2007）。さらに構築したシステムを用いて、郊外緑地の土壌水分量・都市域の地表面温度が大きな影響を及ぼしうることを指摘した（Souma et al, 2008, 相馬ら, 2013）。

2. 研究の目的

以上を踏まえて、本研究では地表面状態量を考慮した短時間強雨予測システムに、近年進歩が著しい衛星リモートセンシングによる高時空間解像度日射量データや高空間解像度の客観解析データを導入（Takenaka et al., 2011, Kotsuki et al, 2015）する。それによって、より高空間解像度（数 km スケール）で推定した地表面状態量を、短時間強雨予測システムに反映することを目指す。

3. 研究の方法

研究代表者らはこれまで、日本で入手可能な降水レーダーによる空間解像度数 km の降水観測、AMeDAS による地上気象観測網に着目し、これらの観測値を境界条件とした陸面過程モデル SiBUC（Tanaka, 2004）の計算により地表面状態量を推定する手法を開発してきた（相馬ら, 2006, 2007）。

この手法を基に、Kotsuki et al. (2015) が行った日本域での地表面状態量推定を参考に、静止気象衛星観測による高解像度日射量推定値（水平解像度 1km, 30 分毎; Takenaka et al., 2011）を導入する。それによって、これまで用いてきた AMeDAS による日照時間観測値（空間解像度 20km 程度）と経験式を用いた推定よりも高精度な地表面状態量推定が可能となる。さらに、これまで用いてきた AMeDAS による気温・風速・湿度観測値（空間解像度 20km 程度）よりも空間解像度の高

いメソ数値予報モデル GPV（空間解像度 5km, 3 時間毎）も併せて活用する。

そのようにして推定した高解像度地表面状態量推定値を、都市域での加熱・摩擦の増加を詳細に表現した雲解像気象モデル CReSiBUC（Souma et al, 2013a, 2013b）に導入する。Kotsuki et al. (2015) では等緯度経度格子に限定して地表面状態量推定を行った。その結果を雲解像気象モデルの初期値として用いるためには、雲解像気象モデルについても等緯度経度格子で計算を行う必要があり、予測精度低下の原因となりうる。そのため、本研究課題では中緯度における雲解像気象モデル計算で多く用いられるランベルト正角円錐図法等を始めとした、様々な投影図法に対応可能な高解像度地表面状態量推定手法構築を目指す。

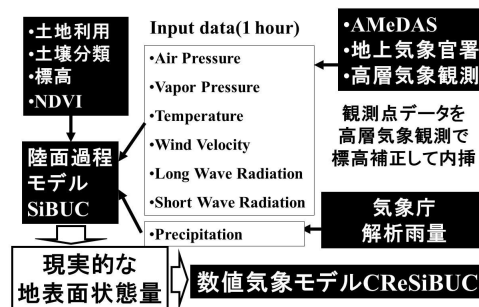


図 1 相馬ら (2006, 2007) による地表面状態量推定手法

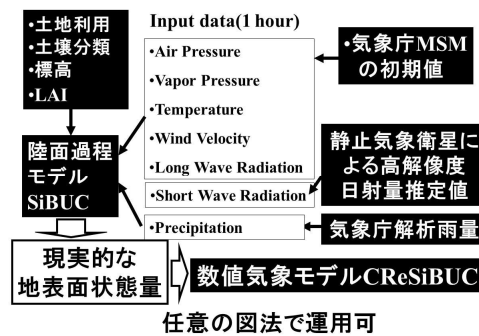


図 2 本研究課題で構築した地表面状態量推定手法

構築した手法を、神戸において局地的大雨集中観測が行われた 2016 年夏季を対象に適用する。第一段階として、下記の典型的な晴天日であり、日照時間が十分であった 2016 年 8 月 5 日を対象に予測実験を行い、ヒートアイランド現象の再現性を評価する。

高解像度地表面状態量推定手法の計算期間は 2016 年 7 月 1 日～8 月 5 日とし、図 3 に示す領域を対象に、空間解像度 2km（ランベルト正角円錐図法；240×240 メッシュ）で計算を行う。時間間隔は 1 時間とし、メソ数値予報モデル GPV については初期値（解析値）のみを用い、時間方向に線形内挿を行う。また、メッシュデータについては最近隣法を用

いて空間内挿を行う。

土地利用及び植生データには国土地理院による国土数値情報(空間解像度 100m; 2009年)を用いる。標高データには GTOPO30(USGS による全球 30 秒(約 1 km)の Digital Elevation Model (DEM)), 植生の活性度(葉面積指数)は MODIS センサを用いた推定値(空間解像度約 500m; Myneni et al., 2015) について BISE 法(Vivoy et al., 1992)を用いて雲の影響を除去した値を用い, 土壌データは ECOCLIMAP(空間解像度約 10km; Champeaux et al., 2005)を用いる。



図 3 高解像度地表面状態量推定・気象予測実験の計算対象領域

雲解像気象モデルによる気象予測実験は, 空間方向には地表面状態量推定と同様にメッシュを設定し, 空間解像度 2km(ランベルト正角円錐図法; 240×240×68 層)で計算を行う。初期時刻は 2016 年 8 月 5 日午前 9 時とし, 24 時間の計算を行う。海水面温度は Group for high resolution sea surface temperature (GHRSSST) による L4 GLOB UKMO OSTIA の日平均値(空間解像度約 5km)を用いる。人工排熱量・建物高さ分布に関しては(野依, 2015)による推定値を用いる。

高解像度地表面状態量推定を用いて土壌水分量・地表面温度の初期値を与えた予測実験(LDAS)と, 与えない実験(CTRL)とを比較する。CTRLでは, 地表面温度初期値については気温と同じと仮定し, 土壌水分量初期値については一様に湿った値(マトリックポテンシャルで-20m)を与える。

4. 研究成果

高解像度地表面状態量推定で入力した気象強制力の例として, 下向き短波放射を図 4 に示す。また, 8 月 5 日 09JST における地表面温度(森林)の推定結果を図 5 に示す。さらに, 気象予測実験(LDAS)における地上付近の気温予測結果(8 月 5 日 12JST)を図 6 に示す。

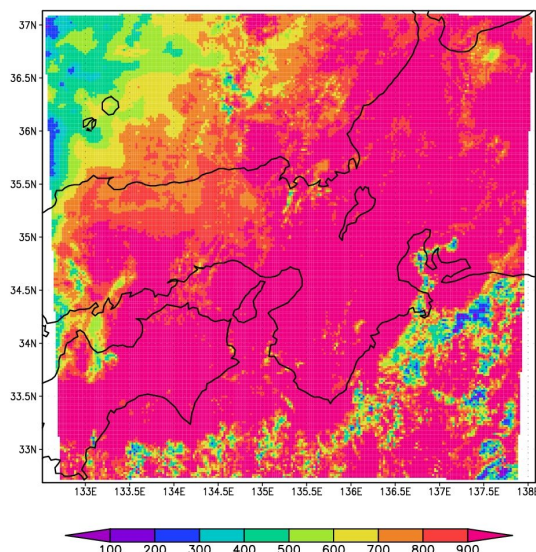


図 4 高解像度地表面状態量推定手法で入力した下向き短波放射フラックス(2016 年 8 月 1 日 12JST; W/m^2)

日最高気温について神戸, 姫路における AMeDAS 観測値と比較したところ, いずれも LDAS 実験で過小評価傾向が改善され, 観測値に近い値となった。

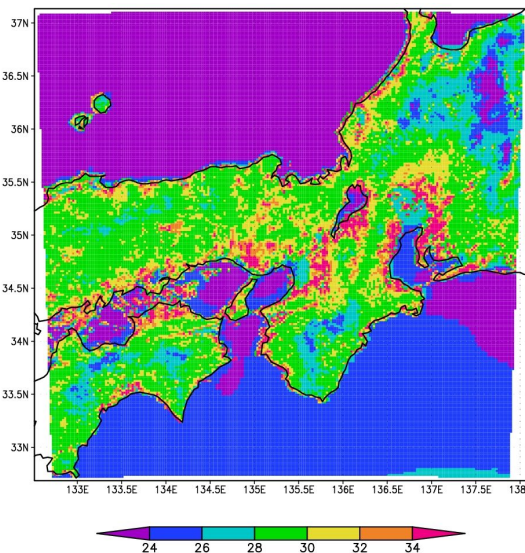


図 5 気象予測実験の初期時刻(2016 年 8 月 5 日 09JST)における森林の地表面温度()

表 1 気象予測実験における日最高気温

日最高気温()	LDAS 実験	CTRL 実験	観測値
神戸	32.5	31.7	34.2
姫路	32.8	32.3	34.4

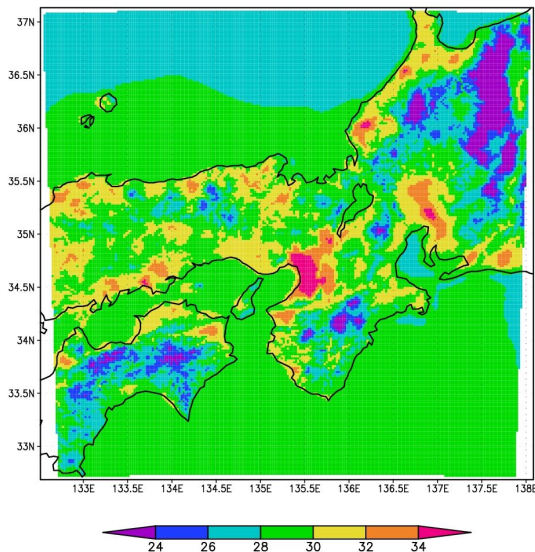


図6 気象予測実験(LDAS)における2016年8月5日12JSTの気温予測結果()

以上から,本研究の成果は以下のようにまとめられる.

1. 研究代表者らが開発してきた地表面状態量推定システムについて, Kotsuki et al. (2015)を参考に衛星リモートセンシングによる高解像度日射量データ(Takenaka et al., 2011)及び高解像度の客観解析データを導入し,雲解像気象モデル CReSiBUC で用いる任意の図法上で高空間解像度の地表面状態量を推定可能な手法を構築した.
2. 構築した高解像度地表面状態量推定手法を,研究代表者らが構築してきた都市活動を含む詳細な地表面状態を考慮可能な雲解像気象モデル CReSiBUC の初期値として用いる短時間強雨予測手法を構築した.
3. 構築した手法を2016年7月から8月にかけて適用し,2016年8月5日を対象とした気象予測実験を行った.その結果高解像度地表面状態量推定値を用いた実験で,用いない実験よりも神戸及び姫路において最高気温予測結果が AMeDAS による観測値に近づいた.

併せて,研究代表者らは2016年3月より神戸市立住吉小学校屋上にて詳細な地表面状態量観測を行っており,2018年5月まで若干の欠測はあるものの連続観測を行い,純放射量や顕熱フラックスの推定に成功している.今後はそれらの観測値を本研究で構築した高解像度地表面状態量推定手法の検証に用い,改良を行うことでさらなる精度向上が期待できる.

参考文献

- ・ J. L. Champeaux, 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.
- ・ Group for high resolution sea surface temperature (GHR SST): <https://www.ghrsst.org/>, 2018年2月1日閲覧.
- ・ R. Myneni, Y. Knyazihin, T. Park: MODIS15A2H MODIS Leaf Area Index FPAR 8-Day L4 Global 500m SIN Grid V006, 2015.
- ・ Shunji Kotsuki, Hideaki Takenaka, Kenji Tanaka, Atsushi Higuchi, and Takemasa Miyoshi: 1-km-resolution land surface analysis over Japan: Impact of satellite-derived solar radiation, *Hydrological Research Letters* 9(1), 14-19, DOI: 10.3178/hrl.9.14, 2015.
- ・ Kazuyoshi Souma, Kenji Tanaka, Eiichi Nakakita, Shuichi Ikebuchi, and Kaoru Takara: Effect of the LDAS Derived Realistic Distribution of Soil Moisture on a Summertime Heat Thunderstorm Prediction in Japan, *Proceedings of Water Down Under 2008*, pp.2339-2349, J2.3, 2008.
- ・ Kazuyoshi Souma, Kenji Tanaka, Tadashi Suetsugi, Kengo Sunada, Kazuhisa Tsuboki, Taro Shinoda, Yuqing Wang, Atsushi Sakakibara, Koichi Hasegawa, Qoosaku Moteki, and Eiichi Nakakita: A comparison between the effects of artificial land cover and anthropogenic heat on a localized heavy rain event in 2008 in Zoshigaya, Tokyo, Japan, *Journal of Geophysical Research*, 118, pp.11,600-11,610, doi:10.1002/jgrd.50850, 2013.
- ・ Kazuyoshi Souma, Kengo Sunada, Tadashi Suetsugi and Kenji Tanaka: Use of ensemble simulations to evaluate the urban effect on a localized heavy rainfall event in Tokyo, Japan, *Journal of Hydro-environment Research*, 7 (4), pp.228-235, doi:10.1016/j.jher.2013.05.001, 2013.
- ・ H. Takenaka, T. Y. Nakajima, A. Higurashi, A. Higuchi, T. Takamura, R. T. Pinker, T. Nakajima: Estimation of solar radiation using a neural network based on radiative transfer, *Journal of Geophysical Research*, 116, D08215, doi:10.1029/2009JD01337, 2011.
- ・ Kenji Tanaka: Development of the new land surface scheme SiBUC commonly applicable to basin water management and numerical weather prediction model, doctoral dissertation, Kyoto Univ., 2004.
- ・ Kazuhisa Tsuboki and Atsushi Sakakibara:

Large-scale parallel computing of Cloud Resolving Storm Simulator, High Performance Computing. Zima H. P. et al. (eds), Springer, Germany, pp.243-259, 2002.

- ・ N. Viovy, O. Arino, A. S. Belward: The best index slope extraction (BISE): A method for reducing noise in NDVI time-series, International Journal of Remote Sensing, 13 (8), pp.1585-1590, 1992.
- ・ 野依亮介: 詳細な都市活動情報を考慮した京阪神地方における局地的大雨予測に関する研究, 山梨大学修士論文, p.99, 2015.
- ・ 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.
- ・ 相馬一義, 田中賢治, 池淵周一: 現業気象データと陸面過程モデルによる日本の地表面状態量の推定, 京都大学防災研究所年報, 第49号B, pp.617-624, 2006.
- ・ 相馬一義, 田中賢治, 中北英一, 池淵周一: 日本における土壌水分量推定とそれが夏季の熱雷に与える影響の検討, 京都大学防災研究所年報, 第50号B, C14, 2007.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 3 件)

1. Muhammad Syahir Bin Md Din, Kazuyoshi Souma, Hasti Widyasamratri, Tadashi Suetsugi, Jun Magome, Hiroshi Ishidaira, and Kenji Tanaka: Development and Validation of Heavy Rainfall Prediction Method Considering the Urban Activity Information in Jakarta, Indonesia, Annuals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Annuals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, No.59B, pp.570-575, 2016 (査読無し).
2. 山口弘誠, 高見和弥, 井上実, 須崎純一, 相馬一義, 中北英一: 豪雨の「種」を捉えるための都市気象 LES モデルの開発と積雲の生成に関する研究, 京都大学防災研究所年報, 第59号B, pp.256-297, 2016 (査読無し).
3. 中北英一, 山口弘誠, 大石哲, 大東忠保, 橋口浩之, 岩井宏徳, 中川勝広, 相馬一義, 増田有俊, 小川まり子, 坪木和久, 鈴木賢士, 川村誠治, 鈴木善晴: 積乱雲の生成・発達を捉えるための

マルチセンサーによる RHI 同期観測実験, 京都大学防災研究所年報, 第58号B, pp.232-236, 2015 (査読無し).

〔学会発表〕(計 12 件)

1. 相馬一義, 野依亮介, 馬籠純, 石平博: 日本全域における都市活動情報の推定とその雲解像気象モデルへの導入, 第45回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, 11-72, 山梨大学, 甲府, 3月8日-9日, 2018 (口頭発表).
2. 相馬一義: 災害をもたらす気象現象とその観測・予測について, 疾グループ合同社員研修会, 疾測量株式会社, 甲府, 2月18日, 2017 (口頭発表, 招待講演).
3. Kazuyoshi Souma, Ryosuke Noyori, Muhammad Syahir Bin Md Din, Takuya Takayama, Hasti Widyasamratri, Jun Magome, Hiroshi Ishidaira: Development of Cloud Resolving Meteorological Model Including Urban Activities and Its Application to Asian Megacities, University of Yamanashi International Symposium UYIS 2016 (UYIS2016), pp.49-50, 2016, University of Yamanashi, Kofu, 22 Nov. (口頭発表).
4. Muhammad Syahir Bin Md Din, Kazuyoshi Souma, Jun Magome, Hiroshi Ishidaira, Tadashi Suetsugi, and Hasti Widyasamratri: Introduction of Urban Activity Information to the Heavy Rainfall Prediction in Jakarta, Indonesia, Proceedings of the 4th International Young Researchers Workshop on River Basin Environment and Management (IYRW), pp.1-6, 2016, VNUHCM - University of Science, Ho Chi Minh City, Vietnam, 12-13, Nov. 2016 (口頭発表).
5. Muhammad Syahir Bin Md Din, Kazuyoshi Souma, Hasti Widyasamratri, Tadashi Suetsugi, Jun Magome, Hiroshi Ishidaira, and Kenji Tanaka: Heavy Rainfall Prediction Considering Urban Activity Information in Jakarta, Indonesia, Proceedings of the 7th International Conference on Water Resources and Environment Research (ICWRER2016), G04-06, Kyoto TERRSA, Kyoto, Japan, 5-9 Jun, 2016 (口頭発表).
6. 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, (P2), コラッセふくしま, 福島, 9/15-9/17 (ポスター発表).
7. 岡田拓也, 相馬一義, 末次忠司: ヒー

トアイランド・局地的大雨へ小規模緑地
が与える影響評価 2008 年雜司ヶ谷豪
雨を例として , 水文・水資源学会 2016
年研究発表会要旨集, pp.154-155, 2016,
ポスター発表 (P24) , コラッセふくし
ま, 福島, 9/15-9/17 (ポスター発表) .

8. Ayaka Watanabe, Kazuyoshi Souma,
Tadashi Suetsugi, Satoru Oishi, Ratih
Indri Hapsari, Tetsuya Sano, Kazuhiro
Kakizawa, Hiroshi Ishidaira, Yutaka
Ichikawa, Jun Magome: Application of
ensemble short-term rainfall
prediction to shallow landslide risk
estimation, AOGS 12th Annual Meeting
2015, APHW02-D1-AM2-312-002, Suntec
Singapore International Convention
and Exhibition Centre, Singapore, 2
Aug. - 7 Aug., 2015, (口頭発表) .
9. 相馬一義, 野依亮介: 京阪神における
局地的大雨予測への詳細な都市環境情
報導入とその影響, 河川財団研究発表
会 河川整備基金助成事業成果及び財
団研究成果 , 公益財団法人河川財団
近畿事務所, pp.27-30, 大阪マーチャン
ダイズ・マートビル (OMM ビル), 大阪,
12月1日, 2015 (口頭発表, 招待講演) .
10. Kazuyoshi Souma, Ryosuke Noyori:
Localized heavy rainfall simulations
by using a cloud resolving model that
considers urban activity information
in Osaka, Japan, Proceedings of the
9th Workshop of the Virtual Laboratory
for the Earth's Climate Diagnostics
Program, and the University Allied
Workshop, p.21, 2015, Atmosphere and
Ocean Research Institute, The
University of Tokyo, Japan, 29 Sep. -
1 Oct (口頭発表) .
11. Muhammad Syahir Bin Md Din, Kazuyoshi
Souma, Hasti Widyasamratri, Tadashi
Suetsugi: URBAN HEAT ISLAND
SIMULATION OVER JAKARTA, INDONESIA,
USING A CLOUD RESOLVING MODEL, 土木
学会第 70 回年次学術講演会講演概要集,
CS2-017 (DVD), 2015, 岡山大学津島キャン
パス, 岡山, 9/16-9/18 (口頭発表) .
12. 渡邊彩花, 相馬一義, 末次忠司, 大石
哲, 佐野哲也, 柿澤一弘, 石平博, 市川
温, 馬籠純: 単一の X バンド MP レーダ
ー観測域における土砂災害危険度推定
手法の構築, 水文・水資源学会 2015 年
研究発表会要旨集, pp.140-141, 2015,
首都大学東京, 東京, 9/9-9/11 (ポスタ
ー発表) .

〔その他〕

ホームページ等

[http://www.tok2.com/home/ksouma/soumacr
esibuc2.html](http://www.tok2.com/home/ksouma/soumacr
esibuc2.html)

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

相馬 一義 (SOUMA, Kazuyoshi)

山梨大学・大学院総合研究部・准教授

研究者番号 : 40452320