

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月12日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2010～2012

課題番号：22246066

研究課題名（和文）雲解像モデルと詳細な陸面パラメータを用いた広域大気陸面相互作用の総合研究

研究課題名（英文）INTEGRATED RESEARCH ON LAND-ATMOSPHERE INTERACTION BY CLOUD RESOLVING MODEL AND DETAILED LAND SURFACE PARAMETERS

研究代表者

田中 賢治（TANAKA KENJI）

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号：30283625

研究成果の概要（和文）：

雲解像モデル CReSS のバージョン 3.4 への更新に伴い、陸面過程モデル SiBUC についても畑地灌漑スキームや積雪融雪過程を更新し、最新版の結合モデルの開発と検証を進めた。2011 年のモンスーンオンセット時を基準として、各年の衛星観測植生指標の空間相関係数が最も下がる 2010 年の地表面パラメータを用いた実験と実際の 2011 年の地表面パラメータを用いた実験を実施し、チャオプラヤ川の大洪水をもたらしたモンスーン変動と陸域植生の関係を検討した。

研究成果の概要（英文）：

The latest version of the coupled model CReSiBUC has been developed with the cloud resolving model CReSS version 3.4 and the land surface model SiBUC with new irrigation and snow processes. Based on the analysis of spatial pattern correlation of NDVI, two numerical experiments with different vegetation parameters for 2011 and 2010 were executed to investigate the relationship between the land surface vegetation status and Asian Monsoon variability which caused the 2011 Chao Phraya river massive flood.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	17,200,000	5,160,000	22,360,000
2011年度	12,100,000	3,630,000	15,730,000
2012年度	7,800,000	2,340,000	10,140,000
総計	37,100,000	11,130,000	48,230,000

研究分野：理工系、工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：雲解像モデル、陸面過程、植生パラメータ、モンスーン変動

## 1. 研究開始当初の背景

世界の人口の半分以上が生活するアジアモンスーン地域では、地球温暖化の進行と相まって、各地で異常気象が頻発し、局地的な洪水や渇水への対策、農業用水や生活用水の安定供給といった水資源管理の重要性がますます増している。適切な水資源管理を実現する上で、信頼のおける気象予測情報が求められている。特に雨季の始まり（モンスーンオンセット）のタイミングや雨季終盤の豪雨は水

管理上非常に大きな問題であり、これまで学術上のみならず、社会的にも大きな関心を示されてきた。人口の集中に伴う急激な都市の拡大や、違法伐採による森林破壊など、人間活動に伴う土地改変は洪水被害を増大させるのみならず、洪水の原因となる気候・水循環に与える影響も指摘されている。例えば、東南アジアの森林伐採がその地域の雨季終盤の降水量を減少させた可能性や過去数百年のインドの土地利用変化がアジアモンスーンの強

弱までをも変えた可能性が示唆されている。その他、グローバルあるいは地域スケールで、土地利用の変化や森林伐採が降水量に影響を与えるとする研究は数多くある。しかし、これらの研究成果の大部分は、数十 km から数百 km の水平解像度の気候モデル（大気 - 陸面モデル）を用いて得られたものであり、極端な土地改変を設定した理想実験にとどまっているのが現状である。そのような数十 km から数百 km の水平解像度のモデルにおける降水過程は大規模場を対象とした「パラメタリゼーション」に依存しており、大気と陸面の相互作用、特に土地利用変化や植生状態の影響を適切に表現しているか疑問である。

一方、近年になって、1km から数 km 前後の水平解像度で雲を陽に解像した大気モデル（雲解像モデル）が登場した。名古屋大学で開発されている雲解像モデル CReSS を用いた毎日のシミュレーション実験が平成 16 年度から様々な領域を対象として実施されてきた。これらの実験では、梅雨前線周辺の降水システム、台風に伴う降雨帯、冬季の筋状の降雪雲などの現象の再現に成功しているものの、実験結果を定量的に評価すると、大きな差があることが分かってきた。これらの差の原因はいろいろと考えられるが、陸面過程の再現が不十分であることが大きな原因の一つであると考えられている。CReSS や気象庁の現業の数値予報で使用されている NHM 等多くのメソモデルでは、土壌水分量の違い、土地利用の違い、植生の季節変化が地表面熱収支に与える影響がまとめて蒸発効率という一つのパラメータで表現されており、植生や土壌水分量の季節内変動等は考慮されていない。申請者らの研究グループでは陸面過程の改良を通じた数値予報の精度改善を目指し、CReSS に都市や農地の影響を考慮できる詳細な陸面過程モデル SiBUC を導入した CReSiBUC の開発に着手し、1999 年に発生した練馬豪雨を例に、短時間降雨予測において都市での陸面過程を詳細に考慮することの重要性を説いた。また山地域における対流性降水について、土地利用の違いや現実に起こりうる変動の範囲での土壌水分量初期値の違いが日本のような湿潤な地域においても短時間で局所的な降水に十分大きな影響を与えうることを示した。現時点では、全球を対象として 1km から数 km で計算を行なうことは、少なくとも大気 - 陸面相互作用の解明を目的として行なうことは計算機資源の面から現実的ではない。しかし、対象とする地域、ここでは例えば東南アジアやインドなどを 1km から数 km の解像度に区切り、その他の世界は数十 km から数百 km の水平解像度で計算を行なうことは、現時点あるいは近未来の計算機資源の面からも十分に実現可能である。

## 2. 研究の目的

(1) 雲解像モデル CReSS と詳細な陸面過程モデル SiBUC の結合モデル (CReSiBUC) を用いたシミュレーションにより、陸面状態の精緻化による現象の再現性向上を目指し、乾季から雨季への遷移過程における陸面の影響や森林伐採等の植生変化が雨季の開始・終了時期に及ぼす影響を雲解像スケールで評価する。そのために、過去 30 年程度の衛星データを用いて詳細な植生分布（およびその年々変動）情報を整備し、陸面パラメータを正確に与える。

## 3. 研究の方法

(1) 植生衛星基礎データとなる PAL は千葉大学環境リモートセンシング研究センターで既に整備済みであり、AVHRR の後を埋める衛星データセットである Terra/Aqua MODIS 1km global level1b (2000-現在) データを、インターネットを通じて取得する。幸いにも 2000 年に Terra/MODIS と NOAA/AVHRR の観測時期が重なることや、他のグローバル植生衛星データ (SPOT Vegetation) も合わせて、両者の系統的な差を考慮に補正した長期データセットを日単位、1km 解像度で整備する。

(2) SiBUC モデルは 1 つの格子に複数の植生タイプの混在を許すモザイクモデルであり、植生タイプ毎に植生パラメータを与える必要がある。雲解像モデルによる様々な数値実験では、対象とする現象や領域の大きさに応じて 1km から数 km の格子サイズが設定されることになるが、ここではまず、衛星データのピクセルサイズ (1km) において葉面積指数 (LAI)、キャノピーカバー率 ( $V_c$ ) 等のデータを整備しておく。次に、雲解像モデルの格子位置に合わせ、植生パラメータを植生タイプ毎に集約する。ここで、整備すべきパラメータセットは 1 通りではなく、衛星観測情報をそのまま活用した、いわば「真実」の場として、計算対象年の陸面状態をできるだけ正確に表現するためのパラメータセット、モンスーン変動に呼応した植生活動の年々変動の影響を除去し、平均的な季節変化を与える気候値的なパラメータセットなど、様々な数値実験の目的に合わせた陸面パラメータを複数セット整備する。

(3) インドシナ半島を対象として、水平解像度数 km で雲解像モデル CReSS を用いた数値実験を行う。陸面状態の精緻化の効果による現象の再現性の向上の効果を調べるために、また雨季・乾季の遷移過程における陸面の影響や森林伐採等の植生変化が雨季の開始・終了時期に及ぼす影響を調べるために、陸面過程の取り扱いを変えた感度実験を設定する。すなわち、

(1) 計算対象年の陸面状態をできるだけ正

確に与える

(2) 全く別の年の植生パラメータを与える  
(アノマリー相関の低い年)

数値実験はプレモンスーン期からモンスーンオンセット以降まで連続して実施する。大気側は再解析データにより連日差し替えを行い、陸面過程の状態量については前日のシミュレーション結果から引継ぎを行うことにより、仮想的に連続したシミュレーションを実現する。

(4) 現象の再現性の向上に関しては、様々なデータを用いて検証を行う。これまでのGEWEX/GAME、CEOP、CREST等のプロジェクトを通じて整備されている、アジアモンスーン域の地上雨量計データ、レーダー雨量計データ、地上気象観測データ、河川流量データ等が利用できる。また、衛星観測情報も有力な検証情報であり、静止気象衛星データ、1997年以降ではTRMM等の衛星データを活用する。名古屋大学で開発されているSDSU

(Satellite Data Simulator Unit) を用いて、モデル出力の様々な変数をマイクロ波輝度温度、レーダー反射因子といった衛星が計測する物理量に換算することで、モデル出力と衛星観測情報を直接比較することが可能である。

#### 4. 研究成果

(1) AVHRRの後を埋める衛星データセットであるTerra/Aqua MODIS 1km global level1b (2000-現在) データを、インターネットを通じて取得し、両者の系統的な差を考慮に補正した長期データセットを日単位、1km 解像度で整備した。雲解像モデルの格子位置に合わせ、植生パラメータを植生タイプ毎に集約するための処理ツール及び土壌水分等の陸面状態量を初期値に取り込むツールを整備した。アジアモンスーン域のモデル検証用のデータを収集するとともに、各種実験結果との比較を容易にするためのツール整備を行った。また、モデル検証用に静止気象衛星観測輝度温度情報から雲を抽出、判別する手法を開発した。

(2) 雲解像モデル CReSS のバージョン 3.4 への更新に伴い、最新版の結合モデルの開発を進めた。陸面過程モデル SiBUC についてもここ数年の畑地灌漑スキームや積雪融雪過程の更新を結合モデルに反映することにした。SiBUC のモジュール化、CReSS-SiBUC の結合部分再検討などのモデル本体の更新に加え、地表面パラメータ作成などのプリプロセッサ部分の更新が必要で、モデルの更新にはかなりの時間を要した。CReSS の最新版への更新により、長期積分を行う際にネックとなっていた大気放射過程が強化され、モンスーンの開始から終了にかけての連続計算も可能となった。

(3) CReSS-SiBUC 結合モデルについて、5名が犠牲になる大きな被害を引き起こした2006年東京都雑司ヶ谷豪雨を対象に降水再現精度検証を行い、詳細な陸面過程を考慮した雲解像モデルが局地的大雨を高い精度で再現できることを確認した。

加えて都市域加熱を減少させた数値実験を行った。再現計算と比較した都市加熱を減少させた数値実験では局地的大雨の降水量が降り始めの時間帯に大きく減少した。このことから、人間活動を含む詳細な陸面過程が降水に影響を及ぼしうることが示唆された。

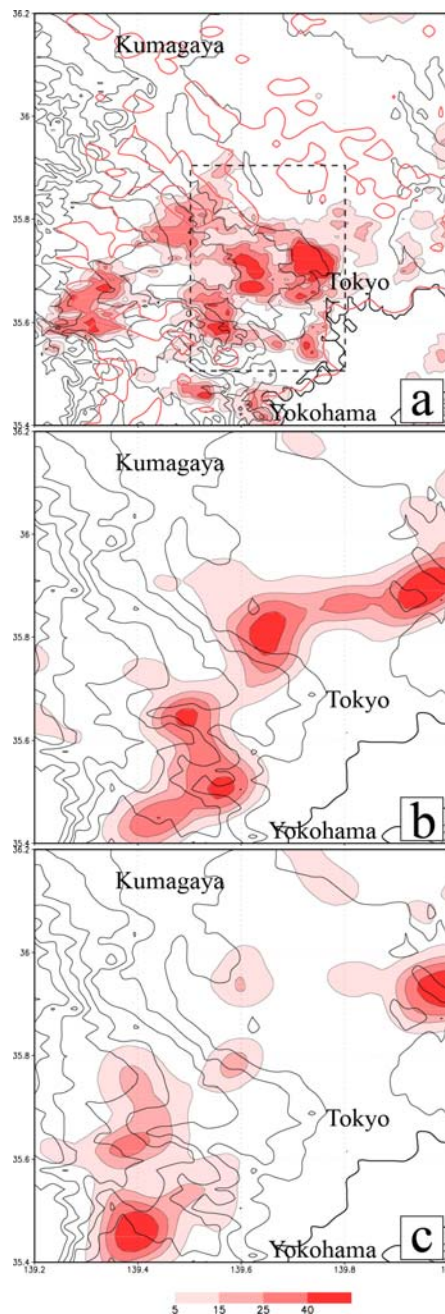


図1 2008年8月5日11~14時の積算降水量(mm)。(a)観測値、(b)CReSS-SiBUC結合モデルによる再現計算の結果、(c)都市加熱を減少させた数値実験の結果。

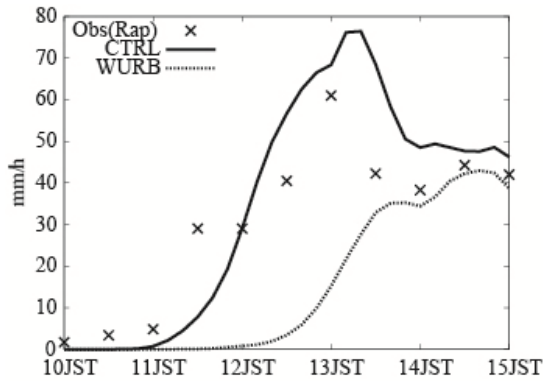


図2 領域最大時間降水量の時系列(図1aの破線で示す領域内)。十字は観測値、実線はCReSS-SiBUC結合モデルによる再現計算の結果、破線は都市加熱を減少させた数値実験の結果を示す。

(3) 2011年のタイのチャオプラヤ川での大洪水を受け、2011年を重点解析対象年とした。本研究の目的である広域大気陸面相互作用を検討するためにインドシナ半島全域を計算対象とし、空間解像度を4 km(積雲を解像できる最大の空間解像度)とした。

過去の水文データの解析から、チャオプラヤ川で大洪水を引き起こす年の特徴として、特に雨期前半の降雨量が多いことが判明した。そこで、2011年のモンスーンオンセット時(5月~6月)を基準として、各年の衛星観測植生指標の空間相関係数が最も下がる2010年のNDVIデータを用いた実験と実際の2011年のNDVIデータを用いた実験を実施し、このような大洪水をもたらしたモンスーン変動と陸域植生の関係を検討した。

図3はモンスーンオンセット期の中で特に大きな降水が見られた6月中旬における2010年と2011年のNDVIの差を示したものである。また図4は図3と同じ6月中旬における現実の(2011年の)NDVI分布を用いた場合と2010年のNDVI分布を用いた場合の降水量の差を示したものである。図3においてインドシナ半島の広い範囲で赤色(2011年が小さい)が強く、2011年のこの時期の植物活性度は低い状態にあったことがわかる。これにより、地表面加熱は増加し、モンスーンによる西風が強化され、それに伴うインドシナ半島西部の降水が2011年ではより北東側に移動したことが降水量の差をもたらした大きな要因と考えられる。また図3を詳しく見ると、チャオプラヤ川上流域に限っては青色(2011年が大きい)が見られ、局所的に水蒸気供給量が多くなったことも降水の強化に寄与したことが示唆される。このように、植生パラメータを変化しただけで、10日間で3

00 mm以上の降水量の差をもたらしていることが示された。

2011年は7月から8月にかけても、チャオプラヤ川流域において降水量が多かったこと、インドシナ半島に上陸した台風の数が非常に多かったことが報告されており、今後はさらに計算期間を伸ばして、雨期の開始から終了までの全期間について、植生がモンスーンの強弱や台風のコースや速度に及ぼした影響についても詳しく検討して行く必要がある。

difference of NDVI (2010-2011) ip=17

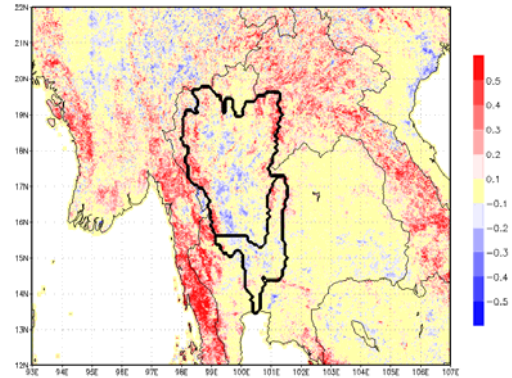


図3 2011年と2010年の植生指標の差

Rainfall diff (2010-2011) 06/11-06/20

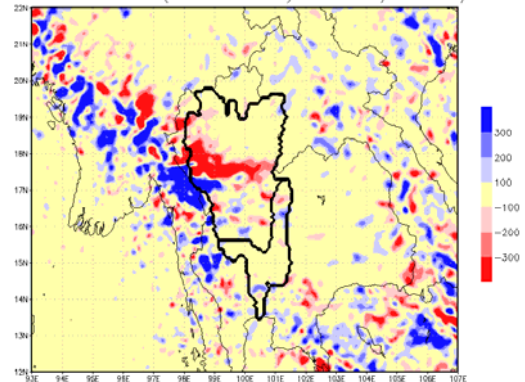


図4 現実の植生分布と2010年の植生分布を用いた場合の降水量の差

## 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13件)

- ① Yamada, T. J., S. Kanae, T. Oki, and R. D. Koster : Seasonal Variation of Land-Atmosphere Coupling Strength over the West African Monsoon Region in an Atmospheric General Circulation Model, Hydrological Sciences Journal (accepted). (査読有)

- ② Souma, K., K. Sunada, T. Suetsugi, and K. Tanaka : Use of ensemble simulations to evaluate the urban effect on a localized heavy rainfall event in Tokyo, Japan, Journal of Hydro-environment Research (accepted) (査読有)
- ③ Souma, K., K. Tanaka, T. Suetsugi, K. Sunada, E. Nakakita, K. Takara, S. Oishi : The effects of soil moisture on a summertime convective rainfall over mountainous area and its contiguous plain in central Japan, International Association of Hydrological Sciences Publication (in press) (査読有)
- ④ 今田由紀子, 鼎信次郎, 渡部雅浩, 石井正好, 木本昌秀 : 2011年タイの大雨の季節予測可能性, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.69, No. 4, I\_391-I\_396, 2013. (査読有)
- ⑤ 渡部大和, 山田朋人, D. P. Y. Suseno. MTSATによる輝度温度情報から作成した東南アジアにおける雲の気候特性. 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.69, I\_301, 2013. (査読有)
- ⑥ 小槻峻司, 田中賢治 : 陸面過程モデルと大気水収支法による灌漑農地からの水蒸気供給量推定, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.69, I\_801- I\_806, 2013. (査読有)
- ⑦ 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, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.69, I\_343-I\_348, 2013. (査読有)
- ⑧ Nomura, M., K. Tsuboki and T. Shinoda: Impact of sedimentation of cloud ice on cloud-top height and precipitation intensity of precipitation systems simulated by a cloud-resolving model, J. Meteor. Soc. Japan, 90, 791-806, 2012. (査読有)
- ⑨ 小槻峻司, 田中賢治, 小尻利治, 浜口俊雄 : 衛星データから作成した農事暦を活用した全球陸域水循環解析, 水文・水資源学会誌, Vol.25(6), pp.373-388, 2012. (査読有)
- ⑩ 和田卓也, 山田朋人 : 2011年7月新潟・福島豪雨時における線状降水帯の形状特性・環境場に関する考察, 土木学会論文集 B1(水工学), 67, I481-I486, 2012. (査読有)
- ⑪ 相馬一義, 田中賢治, 砂田憲吾, 末次忠司, 坪木和久, 榊原篤志, 茂木耕作 : 2008年に東京都雑司ヶ谷付近で発生した局地的大雨へ都市加熱が与えた影響, 土木学会水工学論文集, 第56巻, pp.403-408, 2012. (査読有)
- ⑫ Yamada, T. J., S. Kanae, T. Oki, and Y. Hirabayashi : The Onset of the West African Monsoon simulated in a high-resolution atmospheric general circulation model with reanalyzed soil moisture fields, Atmospheric Science Letters, 2011, DOI:10.1002/asl.367. (査読有)
- ⑬ 藤井嵩大, 田中賢治, 相馬一義, 小尻利治 : 都市気象を表現する力学的ダウンスケーリングに関する研究, 土木学会水工学論文集, 第55巻, pp.355-360, 2011. (査読有)
- [学会発表] (計15件)
- ① 樋口篤志, 田中賢治, 本多嘉明 : モデルと衛星観測を活用した食糧安全保障パッケージ, 日本地球惑星科学連合2013大会, 2013年5月20日, 幕張メッセ.
- ② 松原拓也, 葛和明, Sunmin KIM, 立川康人, 椎葉充晴 : 水稻を対象に開発された作物モデルの陸面過程モデルへの導入, 水文・水資源学会2012年研究発表会, 2012年9月28日, 広島市西区民文化センター
- ③ Supatchaya, C., 田中賢治 : Integrating Models for Flood Forecasting in the Lower Part of Chao-Phraya River Basin, 水文・水資源学会2012年度研究発表会, 2012年9月27日, 広島市西区民文化センター
- ④ 田中賢治, 小槻峻司, 相馬一義 : 数値気象モデルと分布型流出モデルによる2011年7月阿賀野川水系洪水の再現計算, 土木学会第67回年次学術講演会, 2012年9月5日, 名古屋大学
- ⑤ Souma, K., K. Sunada, T. Suetsugi, K. Tanaka : Use of ensemble simulations to evaluate the urban effect on a localized heavy rainfall event in Tokyo, Japan, 10th Congress of the Asia and Pacific Division of the International Association for Hydro- Environment Engineering and Research, 2012年8月20日, Jeju, Korea.
- ⑥ Souma, K., K. Sunada, T. Suetsugi, K. Tanaka : Effects of urban heating on a heavy rainfall over Tokyo, 8th International Conference on Urban Climate, 2012年8月8日, Dublin, Ireland.
- ⑦ 小槻峻司, 田中賢治, 小尻利治 : NDVIを利用した全球農事暦プロダクト, リモ

- ートセンシング学会第 52 回学術講演会, 2012 年 5 月 24 日, 東京大学
- ⑧ 田中賢治, 小槻峻司, 相馬一義 : CReSiBUC と HydroBEAM による 2011 年 7 月新潟・福島豪雨災害の再現, 平成 23 年度京都大学防災研究所研究発表講演会, 2012 年 2 月 22 日, 京都大学
- ⑨ 相馬一義, 砂田憲吾, 末次忠司, 田中賢治 : 2008 年雑司ヶ谷豪雨に対する都市加熱の影響, 土木学会第 66 回年次学術講演会, 2011 年 9 月 7 日, 愛媛大学
- ⑩ 小槻峻司, 田中賢治, 小尻利治 : 灌漑を考慮した高解像度陸域水循環モデル, 水文・水資源学会 2011 年度研究発表会, 2011 年 8 月 30 日, 京都大学
- ⑪ 萬和明, 児玉隆敏, Kim Sunmin, 立川康人, 椎葉充晴 : 衛星観測情報を用いた地表面温度の年々変動の分析, 水文・水資源学会 2011 年度研究発表会, 2011 年 8 月 30 日, 京都大学
- ⑫ Shinoda, T., H. Masunaga, M. Yamamoto, M. Kato, A. Higuchi, K. Tsboki, H. Uyeda : Development of a Validation Method for a Cloud-Resolving Model Using Satellite Data of Infrared and Microwave Bands, Asia Oceania Geosciences Society 2011 Annual Meeting, 2011 年 8 月 12 日, 台北
- ⑬ Souma, K., K. Sunada, T. Suetsugi, and K. Tanaka : Dynamical Downscaling of Climate Information Considering Urban Activities, UYIS 2011 Symposium on River Basin Management in Asian Region, 2011 年 3 月 4 日, 山梨大学
- ⑭ Souma, K., K. Sunada, T. Suetsugi, and K. Tanaka : The effect of urban area on a heavy rainfall event over Tokyo on August 5 2008, International Conference on MCSs and High-Impact Weather, 2011 年 3 月 7 日, 名古屋大学
- ⑮ 北宅洋, 田中賢治, 小尻利治, 浜口俊雄 : NDVI 時系列解析による全球 1 km メッシュ作物分類図の作成, 平成 22 年度京都大学防災研究所研究発表講演会, 2011 年 2 月 23 日, 京都大学

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

- (1) CReSS-SiBUC 結合モデルホームページ  
<http://www.tok2.com/home/ksouma/soumacresibuc2.html>
- (2) 山梨大学国際流域環境研究センターコミュニティスペース : CReSiBUC コース  
<http://cs.icre.yamanashi.ac.jp/>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

田中 賢治 (TANAKA KENJI)  
京都大学・防災研究所・准教授  
研究者番号 : 30283625

##### (2) 研究分担者

鼎 信次郎 (KANAE SHINJIRO)  
東京工業大学・情報理工学研究科・准教授  
研究者番号 : 20313108

樋口 篤志 (HIGUCHI ATSUSHI)  
千葉大学・環境リモートセンシング研究センター・准教授  
研究者番号 : 90324384

篠田 太郎 (SHINODA TARO)  
名古屋大学・地球水循環研究センター・助教  
研究者番号 : 50335022

山田 朋人 (YAMADA TOMOHITO)  
北海道大学・工学研究科・准教授  
研究者番号 : 10554959

萬 和明 (YOROZU KAZUAKI)  
京都大学・工学研究科・助教  
研究者番号 : 90554212

相馬 一義 (SOUMA KAZUYOSHI)  
山梨大学・医学工学総合研究部・特任助教  
研究者番号 : 40452320

##### (3) 連携研究者

なし