

平成 22 年 5 月 19 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19510192

研究課題名（和文） 近年頻発する豪雨の発生要因の解明

研究課題名（英文） Analysis on Recent Increasing Trend of Heavy Rainfall Frequency

研究代表者

西山 浩司（NISHIYAMA KOJI）

九州大学大学院工学研究院・助教

研究者番号：20264070

研究成果の概要（和文）：

本研究では、屋久島以北の九州地方で発生した豪雨を対象に、暖候期の気象場のパターン認識を行った。次に、気象要因別の豪雨の経年変動（最近 30 年間）を調べ、最近の豪雨頻度増加の要因について考察した。その結果、期待した通り、梅雨前線や台風に伴う暖湿気流と関連する気象パターンで豪雨が多く発生したことを確認した。しかし、豪雨関連の気象場パターンの増加に伴って、最近の豪雨頻度が増加するといった解釈は成り立たないことがわかった。

研究成果の概要（英文）：

In this study, in order to find contributing factor of recent increasing trend of heavy rainfall frequency, pattern recognition of warm-season meteorological field pattern in Kyushu, Japan, was conducted firstly. The next analysis made significant connection between temporal variation (for the last 30 years) in heavy rainfall frequency and meteorological field patterns. Consequently, it could be confirmed that the frequency of heavy rainfall depends on the direction of water vapor fluxes and the locations of typhoon and stationary front. However, these results clearly indicated that the recent increase trend of heavy rainfall frequency is not consistent with that of meteorological field patterns relating to heavy rainfall.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
19年度	1,900,000	570,000	2,470,000
20年度	700,000	210,000	910,000
21年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：気象学，降水診断技術

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学（分科），自然災害科学（細目）

キーワード：気象災害，水災害

1. 研究開始当初の背景

(1) 豪雨災害を取り巻く状況

日本列島は、中緯度帯の南北の温度傾度が大きい領域に位置し、温帯低気圧やそれに伴う温暖・寒冷前線、梅雨前線と秋雨前線の影響を強く受ける。また、夏季から秋季にかけて、台風の影響も受ける。従って、日本（特に西日本）では、豪雨による甚大な災害を被ってきた歴史があり、現在でも防災対策の試行錯誤が続いており、今後も深刻な問題が顕在化する可能性もある。即ち、今後数十年から100年の間に、日本列島も世界的な地球温暖化の影響を受け、豪雨の発生頻度が増加することが懸念される。こうなると、将来、現在の治水対策は破綻し、膨大な費用を費やす対策への見直しを余儀なくされることが想定される。

(2) 研究の動機

(1) で述べた地球温暖化に対する問題に対して、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）が、世界各国の協力の下で、地球温暖化の実態把握とその精度の高い予測、影響評価、対策の策定を行っており、2007年には第四次評価報告書の作成が計画されている。その中で、気候変動の科学的な評価（第一部会）は、対策策定の際の重要な根拠になる部分で、重要な位置を占める。科学的な評価を行うために、地域気候モデルを構築して、100年先までの気候を予測する試みを行うことが研究の主流で、各国の気象関連機関が推進している。そこで得られた将来の深刻な結果は、マスコミ等を通じて、世界の多くの人々に対して、最近の異常気象も地球温暖化の影響であると頻繁に紹介されている現状がある。日本でも、近年、特に2000年以降、それ以前と比較して豪雨が頻発しているが、この原因も地球温暖化であると頻繁に紹介されている。しかし、実際には、最近の異常気象と地球温暖化との関連性について、はっきりとした知見は得られていない。以上を考慮すると、現在主流になりつつある地域気候モデルによる長期の予測結果だけでなく、最近の異常気象に関しても知見を蓄積して、両者をリンクする形で、客観的に地球温暖化後の特徴を議論する必要がある。

2. 研究の目的

最近、将来の地球温暖化の懸念から、最近10年程度の豪雨頻度がそれ以前に比べてどの程度変化したかについて報告した例が多

く、その関心の高さが伺える。実際、最近11年間で日本列島全体の豪雨の頻度が増加していることが報告され、統計的手法を駆使して豪雨の経年変動を詳細に調べた研究もある。ただ、今後、地球温暖化の将来を見据えて、将来の豪雨防災を扱おうとする場合には、単に豪雨頻度の変化だけを詳細に調べても、その本質を理解することはできないため、その変動が、どのような気象場の変動と関連しているのかについて具体的かつ系統的に調べる必要がある。実際にはこのような研究の取り組みは少ない。そこで、本研究では、屋久島以北の九州地方を対象を絞り、自己組織化マップによる暖候期の気象場のパターン認識を行い、気象要因別の豪雨の経年変動を調べる。また、その結果に基づいて、最近の豪雨の増加傾向の要因について、両書との関連性を対比しながら考察する。

3. 研究の方法

① 解析方法

本研究では、暖候期を6～9月として扱い、1979年6月から2008年9月までの合計14648個の気象場（NCEP再解析データ）を自己組織化マップ（SOM）の学習に利用する。ここでは、豪雨発生の基本的な指標である暖湿気流の流入、湿舌のパターンを表現するために、図1に示すように、九州本島とその南西側に広がる16メッシュを対象にして、可降水量（Precipitable Water: PW）と850hPaにおける下層風の東西、南北成分（U, V）からなる多次元データ（48次元）を抽出する。次に、学習で得られた気象場のパターンを豪雨頻度と対応させる。

本研究では、50mm/h以上の雨量を豪雨として扱い、屋久島以北の九州地方を対象に、1979年～2008年までの30年間のアメダス時間雨量から豪雨頻度を計算する。気象場と豪雨頻度との対応方法として、1日4回（03, 09, 15, 21JST）得られる気象場に対応して、それらの時刻の前後3時間（合計6時間）に50mm/h以上の雨量が記録された地点を対象領域内で積算して豪雨頻度を計算する。ここで用いられるアメダス点として、30年の期間内に観測が終了した地点、及び、新設した地点は除いて、その期間連続して観測された地点（全屋久島以北170地点（2008年）中151地点）を用いる。その結果、各年のデータ欠測率は、0.26～2.25%の範囲内にある。この解析に先だって、研究成果の研究発表①で、1979年～2006年の解析が実施され、あらかじめ、その性能が評価された。

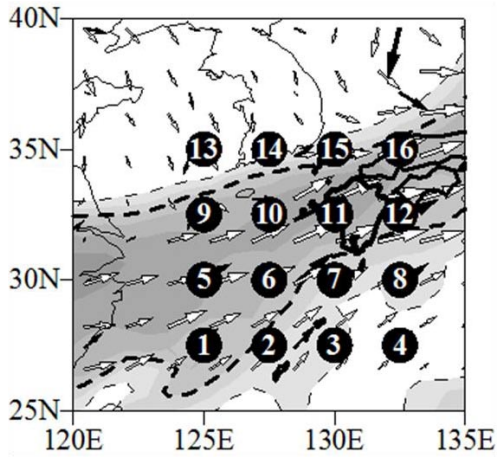


図 1 気象場パターンを構成する対象領域. 16 グリッド, 3 変数 (可降水量, 風の東西成分, 南北成分) から入力データが作成され, 自己組織化マップの学習に利用される.

② 自己組織化マップ

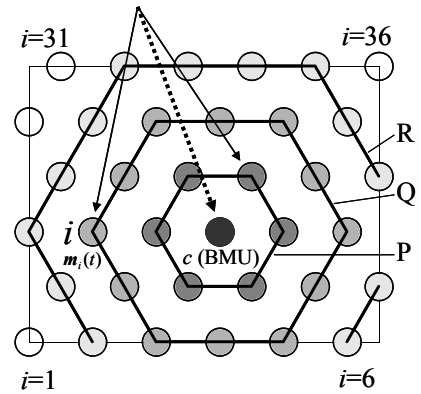
前節でも示したように, 気象場パターン認識を行うために, 自己組織化マップ (SOM: Self-Organizing Map) を適用する. この手法は, 非線形かつ多次元のデータが示す複雑なパターンを 2 次元のマップ上に射影して, 視覚的に理解しやすくすることを目的として開発された手法で, 現在, その応用範囲は多岐にわたり, 複雑な多次元データを扱う様々な分野で利用されている.

そのアルゴリズムと分類結果の解釈について, 図 2 に示す. マップ上には, ○で示す座標が定義され, ユニットと呼ばれる. 各々のユニットは, SOM の繰返し学習によって最終的に得られる 1 つのパターンを表している. 各ユニットには, そのパターンの特徴を示す参照ベクトルが定義される. それは, 入力ベクトルと同じ次元数を持ち, SOM の学習によって得られる最も重要な指標である.

SOM アルゴリズムの計算過程では, 入力ベクトルの正規化と参照ベクトルの初期化の後, 次のように行われる. まず, 入力ベクトル x が与えられると, 2 次元マップ上の全てのユニットの参照ベクトル m_i と比較され, 両者のユークリッド距離 $\|x - m_i\|$ が最小になるユニット c (勝者ユニット) が決定される. この過程は, 入力ベクトルと最も近いパターンを探していることに相当する. その後, 勝者ユニットの位置に近いユニットの参照ベクトルほど, 入力ベクトルの特徴に近くなるように修正される.

以上の手続きに基づく学習によって得られたマップは次のように解釈される. 学習後のユニットの特徴を見ると, その中に類似し

$$x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)) \quad (t = 1, \dots, T)$$



$\|x(t) - m_i(t)\|$ が最小となるユニットが c
 c は BMU (Best Matching Unit) を表す.

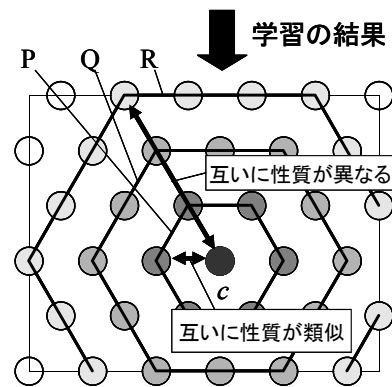


図 2 SOM の構造 (上図) と学習後に現れるマップ上のユニット間の類似性 (下図). ここで, BMU からの距離に応じて, 3 つの六角形 (P, Q, R) が示される.

た入力データが分類されており, その参照ベクトルは, ユニットに含まれる入力ベクトルの代表的な特徴を示すもの (算術平均ではない) と解釈される.

マップの特徴を捉える際のポイントは, ユニット間の相対的な位置の違いからパターンの類似性と異質性を判断することである. 即ち, 互いに類似する特徴を持つユニットはマップ上で近接し, 異なるユニットは相対的に遠くに位置する.

本研究では, 上記手法を適用して, 様々な気象場を対象にパターン分類を行い, その性能を評価した. 研究成果の雑誌論文の②~⑥に相当する.

4. 研究成果

- (1) 気象場の空間的特徴から考察した 30 年間の暖候期の豪雨頻度特性

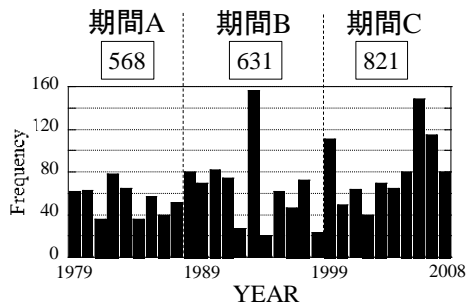


図3 50mm/h以上の豪雨の経年変化(屋久島以北の九州を対象). 30年間で3期間(A, B, C)に分割して, 期間合計の豪雨頻度を四角内に示す.

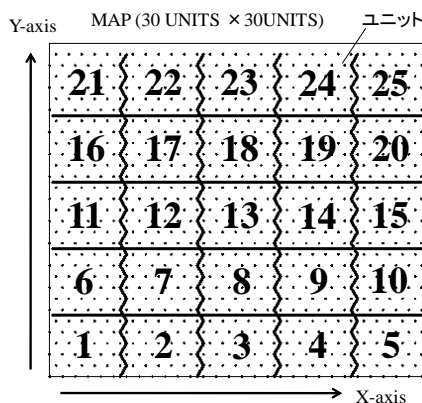


図4 2次元マップの構造. 縦30ユニット, 横30ユニットで合計900ユニット(パターン)からなるマップを示す. パターンの特徴を理解しやすくするため, 全パターンを25個のグループに分割する.

① 豪雨と関連する気象場パターン

対象領域の豪雨頻度の経年変化を図3に示す. 30年間で3期(A, B, C)に分けて豪雨頻度を比較すると, 最近10年(期間C)の豪雨頻度(821件)は, それ以前に比べて増加傾向にあることがわかる. これは, 100件を超えた1999年, 2006年, 2007年の豪雨頻度の影響であることがわかる.

次に, これらの年に起こった豪雨がどのような気象要因で発生したかを調べるために, 自己組織化マップを適用して気象場の分類を行う. ここでは, 図4に示すように, マップを900個のユニット(パターン)から構成し, 大まかな特徴を見るために, 25個のグループに分割した. その結果として, 各気象パターンに対応する豪雨頻度を2次元マップ上に示す(図5). その結果, 豪雨発生と密接に関連するグループとして, 6つのグループ(G1,

G3, G19, G21, G22, G24)が確認できる(100件以上の豪雨頻度を含んだグループを選択).

G1, G3, G19, は台風の位置に強く依存して, 暖湿気流を九州に送り込むパターンを示す. G1は, 台風が九州から離れた南洋上に位置し, 九州で南東風の暖湿気流が卓越するパターンを含んでいる. また, G3は, 台風が九州に最接近した際のパターンを含んでいる. そして, G19では, 台風が九州に上陸した際のパターンを含んでいる.

一方, G21, G22, G24は, 梅雨前線に伴う暖湿気流の流入・湿舌の形成を示す. 豪雨が発生したケースを見ると, G21は南西風, G22は西風・北部九州付近の前線(水蒸気南北傾度が大きい領域), G24は南西風・小低気圧の通過のパターンに関連することがわかる.

以上示した6つの気象場グループ以外にも比較的豪雨頻度が多いグループが存在する(G16, G17). G16の豪雨頻度が大きいパターンを見ると, 南西からの暖湿気流を示し, 湿舌の軸がG21に比べて北上した気象場パターンを示している. また, G17では, 太平洋高気圧周辺部の気象場パターンを示している.

② 気象パターン別の豪雨頻度特性

次に, 各グループに分類された気象場(図6の左側)と, 各グループの豪雨頻度に関する経年変化(図6の右側)を示し, 両者の関連性について調べる. 最初に, 6つのグループ(G1, G3, G19, G21, G22, G24)で合計した豪雨頻度の経度変化(図5の最上部右側)の特徴を調べる. それを見ると, 図3の豪雨頻度のピークと一致した変化を示している. また, 2020件の全豪雨発生件数のうち, 1439件(71.2%)が6つのグループで発生していることがわかった. 従って, 上記6つのグループを扱うことによって, 豪雨頻度の経度変化を説明することができる.

次に, グループごとの豪雨頻度の特徴について調べた. その結果, 最近10年の期間Cにおける豪雨頻度の増加(1999年, 2006年, 2007年)は, G19, G22, G24によってもたらされたことがわかった. G19では, 2007年に豪雨頻度のピークがあり, 台風が九州に上陸・通過する気象場と関連していた. 一方, G22では, 2006年にピークがあり, 九州南部に湿舌の中心・九州北部が前線帯に属する気象場と関連していた. 1999年の場合は, 小低気圧の通過に伴う気象場を含むG24が豪雨頻度増加の要因である.

最後に, 気象場パターンと豪雨頻度に関して, 両者の経年変化の対応関係を調べた. その結果, G19, G22では顕著な豪雨頻度のピークが最近10年の期間Cに含まれているが, 気象場パターンの経年変化を見ると, 期間Cの中に顕著なピークが見られないことがわ

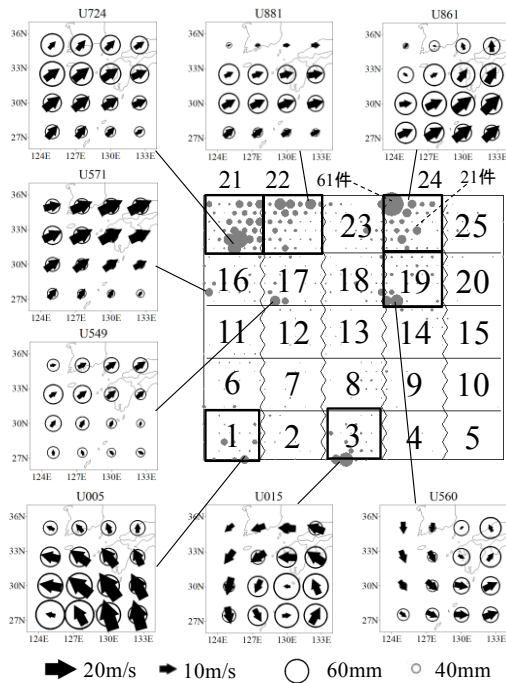


図 5 50mm/h 以上の豪雨の経年変化 (屋久島以北の九州を対象). 30年を3期間 (A, B, C) に分割して, 期間合計の豪雨頻度を四角内に示す. 2次元マップ上に900パターン (縦30×横30) の気象場が表現され, 各パターンの豪雨頻度を灰色の丸で示す. マップの周辺には豪雨をもたらした代表的な気象場パターンが示されている. 気象場の中で, 丸は可降水量, 矢印は850hPaの下層風を示す. U***はユニット (パターン) の番号を示す. また, 900パターンを25個のグループに分け, 豪雨発生に特徴的なグループを濃い四角で示す.

かる. また, G24では, 豪雨頻度のピークがある1999年の気象場パターンを見ると, 同年, その気象場パターンが顕著だったわけではない. 以上から, 最近10年間の豪雨頻度の増加に伴って, 該当する気象場パターンも増加するといった対応関係は認められなかった.

その他の知見として, 長崎豪雨 (1982年), 鹿児島豪雨 (1993年) を含むG21を見ると, 最近10年の豪雨頻度が減少傾向にあり, そのグループの気象パターンが卓越した期間は最初の10年であった. このように, 豪雨頻度と関連する気象場パターンが減少する

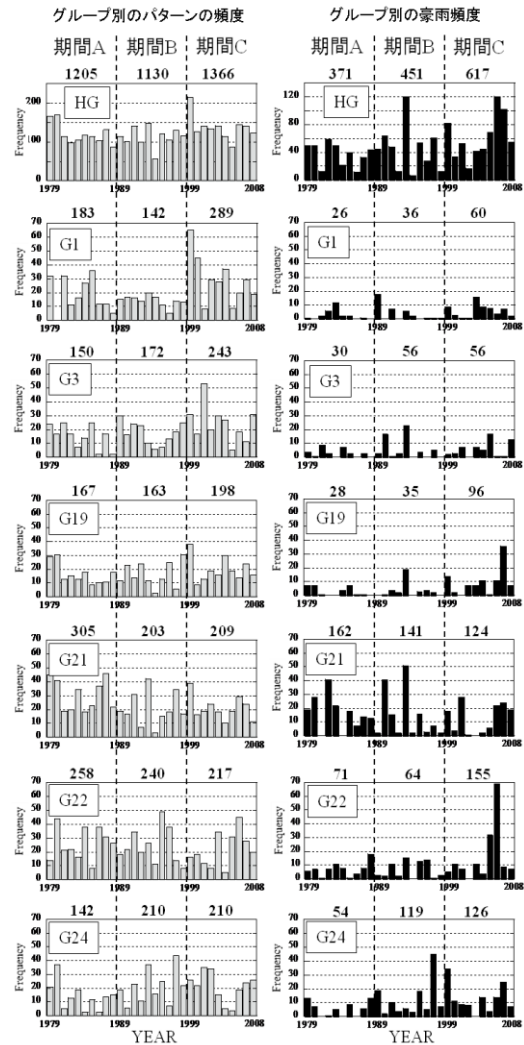


図 6 豪雨発生と密接に関連するグループ (G1,3,19,21,22,24) に対する気象場パターンの頻度 (左図) と豪雨頻度の経年変化 (右図). 30年間の3期間 (A, B, C) に対応する頻度の合計を各図の上に表示した. 最上部の図に記載されているHGは豪雨に関連するグループの総計 (G1,3,19,21,22,24) を表わす.

グループが存在することがわかった.

③ 結論

梅雨前線や台風に伴う暖湿気流の流入に関連する気象パターンで豪雨が多く発生するという結果は予想されるものだった. しかし, 実際には, 気象場のパターンと豪雨頻度の変動が1対1で対応するような関係ではないことを示唆している. 即ち, 単純に, 豪雨と関連する気象場パターンが増加したの

で、同時に豪雨頻度も増加したという解釈にはならないということを意味する。

(2) その他の研究成果 (概略)

複雑な気候特性を示す日本列島の豪雨特性を調べる研究以外にも、比較的単純な気候特性を示す南米中部を対象にして、対象領域の水文特性と気候特性との関係を調べた。この研究は、気候が比較的わかりやすい地域を選択した場合、水文特性と気候場との関係が複雑なのか、簡単になるのか調べるために実施された (研究発表の①に対応)。

その結果、1970年代を境に起こった劇的な気候変動に対応して、渇水傾向から多雨傾向に変化したことが明らかになった。さらに踏み込んで、大西洋の貿易風との関連を調べた結果、南米中部の水文変動は、数10年規模で起こる北半球の太平洋領域の海面温度変動 (PDO: Pacific Decadal Oscillation) と関連することがわかったが、直接的には、大西洋の貿易風の変動と顕著に関連していた。即ち、水位変動の直接的要因は、豊富な水蒸気を含む貿易風が南米中部に至り、降水をもたらしていることが挙げられる。1948年以降に水文変動に適用して見ると、1970年以前は、PDOの負の局面に対応して、貿易風が弱まり、南米中部への水蒸気の供給が減少し、少雨傾向を示していた。一方、1970年以降は、PDOの正の局面に入り、貿易風が強まりとともに南米中部への水蒸気の供給が増加し、多雨傾向になったことがわかった。

以上のように、気候特性の簡単な地域を選択することにより、水文変動との関連が明瞭になる場合もあると考えられるので、そのような地域を重点的に調べるも、今後の複雑な気候特性を示す地域を調べる上の重要な出発点になると考えられる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計6件)

- ① 西山浩司, 豪雨はどのように発生するか, **PETROTECH**, 石油学会, 第33巻, pp.19-23, 2010. (査読なし)
- ② 西山浩司, 岩井真央, 神野健二, 脇水健次, 遠峰菊郎, 北部九州の冬季気象条件に基づく人工降雨実験の実施判断基準について, 水工学論文集, 第54巻, pp.373-378, 2010. (査読有)
- ③ 井芹慶彦, 西山浩司, 神野健二, 河村 明, 種々のパターン抽出手法による日本周辺冬季500hPa日平均温度場のパターン抽出, 水工学論文集, 第54巻, pp.439-444, 2010. (査読有)

- ④ 井芹慶彦, 水本真輝, 神野健二, 西山浩司, 自己組織化マップを用いた日本全国月降水量分布の変動特性解析, 水文・水資源学会誌, 22巻, 6号, pp.466-478, 2009. (査読有)

- ⑤ Yoshihiko ISERI, Tomonori MATSUURA, Satoshi IIZUKA, Koji NISHIYAMA, Kenji JINNO, Comparison of Pattern Extraction Capability between Self-Organizing Maps and Principal Component Analysis, Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyushu University, Vol. 69, No.2, 2009. (査読有)

- ⑥ 西山浩司, 神野健二, 自己組織化マップを利用した豪雨時の成層状態の診断, 水文・水資源学会誌, Vol.20, No.3, pp.156-166, 2007. (査読有)

[学会発表] (計2件)

- ① Koji NISHIYAMA, Yoshihiko ISERI, Kenji JINNO, SIGNIFICANT FEATURES OF WARM SEASON WATER VAPOR FLUX RELATED TO HEAVY RAINFALL AND DRAUGHT IN JAPAN, Earth Observation and Water Cycle Science, Rome, ITALY, Nov. 18, 2009.

- ② Koji NISHIYAMA, Cintia UVO, Jonas OLSSON, Ronny BERNDTSSON, Kenji JINNO, Detection of Climate Change Impact on Central South America Using Self-Organizing Map, International Symposium on Earth Science and Technology 2008, Fukuoka, Japan, pp.481-488, Dec.1, 2008.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西山 浩司 (NISHIYAMA KOJI)
九州大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号: 20264070

(2) 研究分担者

神野 健二 (JINNO KENJI)
九州大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号: 80038025

(3) 研究分担者

松浦 知徳 (MATSUURA TOMONORI)
富山大学・理工学部・教授
研究者番号: 10414400