

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 3 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2008～2012

課題番号：20246085

研究課題名（和文） 国際重要インフラの災害リスクガバナンス戦略

研究課題名（英文） Risk Governance Strategy for Global Critical Infrastructure under Threat of Natural Disasters

研究代表者

多々納 裕一 (TATANO HIROKAZU)

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：20207038

研究成果の概要（和文）：

本研究では、港湾や空港などの国際物流のハブ機能を有する国際重要インフラに着目し、相互依存的な安全性投資行動の問題の問題として、そのリスクガバナンス戦略を分析した。リスクガバナンス戦略の検討のための理論的枠組みや実証分析の方法論を構築した。ケーススタディとして、マラッカ海峡を取り上げ、航行機能の停止が及ぼす影響に関する総合的分析を実施すると共に、そのリスクガバナンスを進めていくための政策提言の内容をとりまとめた。

研究成果の概要（英文）：

Focusing on global critical infrastructure such as ports and harbors which have a hub-function in international trade networks, risk governance strategies are analyzed as an interdependent security problem. A theoretical framework to analyze the risk government strategies is proposed and an methodology to conduct an empirical analysis is developed. As a case study, the Strait of Malacca is focused and comprehensive analysis including economic impact of the stoppage of the navigation in the strait is analyzed. Based on the result of the analysis, recommendations to improve the risk governance in the Strait of Malacca are proposed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	14,300,000	4,290,000	18,590,000
2009年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
2010年度	6,900,000	2,070,000	8,970,000
2011年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
2012年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
総計	36,900,000	11,070,000	47,970,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木計画学・交通工学

キーワード：国際重要インフラ，災害リスクマネジメント，リスクガバナンス，国際物流，ネットワーク分析，地球温暖化

1. 研究開始当初の背景

港湾や空港などの国際物流のハブ機能を有する国際重要インフラに着目し、その災害リスクガバナンスに関する研究を実施することを意図している。これらの国際インフラは元来各国政府が整備し、国

際的な利用に供してきたが、近年ではメガターミナルオペレータと呼ばれる巨大な港湾ネットワーク管理運用会社の出現により、世界的には港湾の管理利用権がこれらの民間会社に移転している例も少なくない。さらに、競争の進展により国

際物流ネットワークのリダンダンシーは確実に減少してきている。国際物流ネットワークを健全に育成しつつ、適正に管理していくためには国際的なガバナンス体制の構築が急務となっている。

重要インフラの防御に関する研究は、2001年の世界貿易センターへのテロ攻撃や、ヨーロッパや北米で発生した大規模停電を契機に世界的な注目を集めつつある研究領域である。そこでは、インフラ相互間の影響度をもとに、重点的な防御が必要な施設の特定化を行う方法や実際に機能損傷が生じた場合の社会経済的影響を評価するためのモデル構築が行われてきた。この問題は、安全性を向上させる投資の効果が他の主体の投資行動の効果にも影響を及ぼすという外部性によって、均衡が非効率的なNash均衡（具体的には、社会的ジレンマ）に陥るといった問題構造を有している。我々が研究対象とする国際重要インフラのリスクガバナンスに関しては、上述したような整備・発展の経緯から国際協調が未確立な領域であり、内発的な安全性確保の動機付けを与えるような体制・制度作りの基盤となる研究が必要である。そのためには、理論的研究から得られる定性的な結果にとどまらず、定量的な分析に基づいた政策提言を可能とするような実証的研究の推進が必要となる。

2. 研究の目的

港湾や空港などの国際物流のハブ機能を有する国際重要インフラに着目し、相互依存的な安全性投資行動の問題（Interdependent Security(IDS)）の問題として、そのリスクガバナンスの政策を理論的・実証的に分析すること、また、そのための方法論を構築することを研究の目的とする。この際、具体的に、以下の達成目標を置く。

[1]災害経済分析やゲーム論、政治経済学的アプローチにより、実施可能な国際重要インフラのリスクガバナンス戦略を抽出し、それらの政策が有効に機能するための条件を理論的に明らかにする。

[2]国際重要インフラが直面している災害リスク分析のための実証的フレームワークを構築する。そのために、災害環境・システムの脆弱性等を総合的に評価するための方法論の確立を目指す。

3. 研究の方法

(1) 国際重要インフラのリスクガバナンス戦略の分析枠組みの提示：

災害リスクにさらされる国際重要イン

フラとして国際港湾ネットワークをとりあげ、そのネットワークに含まれる各国港湾の防災投資水準の決定問題を考察する。この際、各港湾の防災投資問題が相互依存的な安全投資問題となっていることを示し、戦略的な補完性のために防災投資が各国の自由意思に従った決定では非効率な水準にとどまることを示すとともに、協調を促すような制度的な枠組みに関して考究する。

(2) 国際重要インフラの災害リスク分析のための実証的フレームワークの構築：

本研究で取り上げる国際港湾・空港の多くは、臨海部に位置し、台風・高潮、さらには地震・津波等の影響を被りやすい立地環境にある。地球温暖化の進行に伴う気象変動の増大により、海面上昇や台風等の大規模化が生じると大規模な被害が予想される。さらには、IT技術の発達により、入国管理や輸出入に関連する業務の多くが情報ネットワークに依存しており、これらの情報ネットワークが電力の停止などに対して脆弱であることが知られている。また、港湾・空港の機能停止は、代替港湾・空港までの輸送費用の増加や移動・輸送の取りやめによる機会損失など国内経済に影響を及ぼす。さらには、国際的なサプライチェーンの機能停止などにより、グローバルな影響が発生することが懸念される。このような観点から、国際重要インフラの災害リスク分析の問題をとらえ、既往の研究を体系的に整理して、災害リスク分析モデルに取り込むべきハザードやエクスポージャーの範囲や分析のための要件等を明らかにする。

特に、港湾・航路における台風や高潮ハザードの発生に関する確率評価を検討する。地球温暖化等に伴う気候変動によって、降雨量の変動の拡大や大規模台風の発生頻度の増大が懸念されるが、この点に関しても気象庁全球気候モデルの出力値をもとに港湾への影響を分析しうる分析枠組みを開発する。

(3) 統合的政策シミュレーションモデルの構築とケーススタディ：

国内の主要な港湾、および、マラッカ海峡を対象として総合的な政策シミュレーションを実施する。このために、各ケーススタディエリアにおけるハザードの同定、リスク分析、経済影響評価を実施するための統合的方法論を構築する。この際、経済評価に際しては、空間的応用一般均衡モデル（SCGEモデル）を構築し、港湾や航路の停止が及ぼす影響に関して考察する。

(4) 政策提言のための国際ワークショップの開催：

マラッカ海峡を対象とした政策提言を求まるために国際ワークショップを開催する。開催に当たっては、スイス国ジュネーブに本拠を置く国際リスクガバナンス評議会（IRGC）と共同して、研究者のみならず、マラッカ海峡周辺の主要ステークホルダーに参加を呼びかけ、現実的なハザードシナリオの構築や主要な政策提言の内容に関するコメント等を求めることとする。

4. 研究成果

(1) 国際重要インフラのリスクガバナンス戦略の分析枠組みの提示：

国際重要インフラのリスクガバナンス戦略に関しては、相互依存的な安全性投資行動の問題として非協力ゲームの枠組みでモデル化した。当該港の利用可能性が他港の利用可能性に依存するため、他の港の安全性の水準に依存して自港の安全性投資の効率性が決まることになる。このような状況では、社会的最適な状況に比べて、各港の自発的な意思決定では過小な防災投資のインセンティブしか生まれず、システム全体としての安全性が損なわれる。この問題を解決するためには、港湾の機能停止が生じた場合に発生する他港への影響をも自港の防災投資のインセンティブとして反映しうる仕組みが必要である。

他港に与えた損失を補償するための災害債権制度の創出を検討した。このような枠組みでは、少なからぬケースにおいて、各港がこの保険制度に加入するインセンティブを持ち、かつ、防災投資の水準を社会的に最適な水準に高めうる事が分かった。

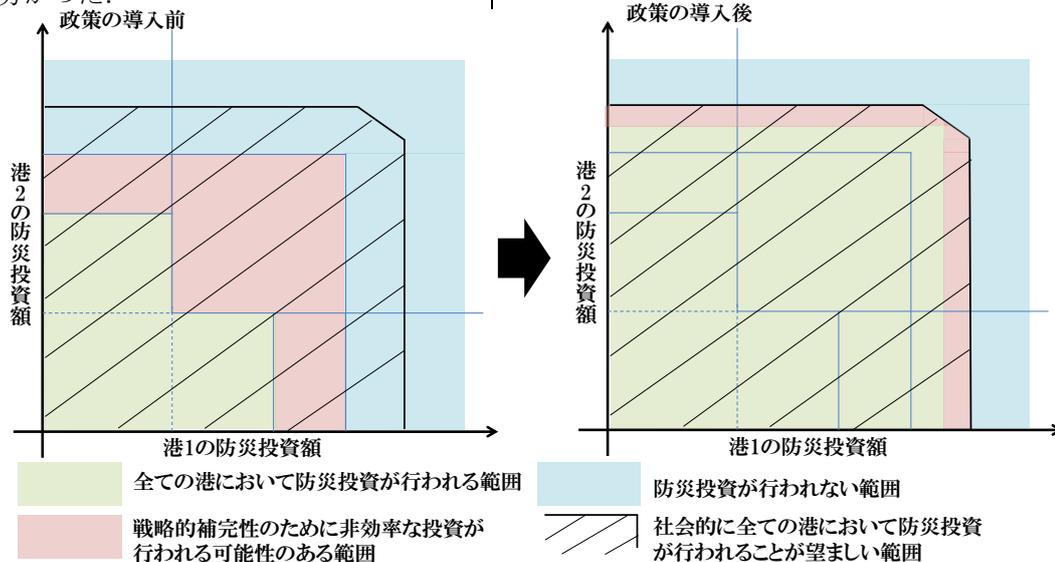


図-2 災害債権導入による防災投資状況の変化

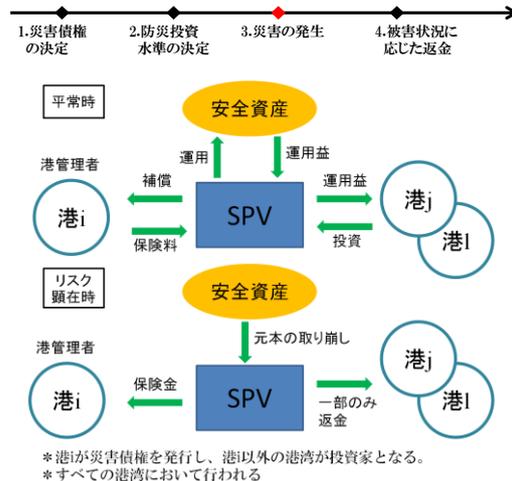


図-1 災害債権導入した場合の概念図

(2) 国際重要インフラの災害リスク分析のための実証的フレームワークの構築：

港湾や空港などの国際物流のハブ機能を有する国際重要インフラが直面する自然災害リスクとして、大規模な台風等による高潮や洪水、地震及び津波の発生の可能性に関して国内外で展開されている研究をレビューし、とりまとめを行うとともに、地球温暖化がもたらす自然災害への影響評価を検討した枠組みに準拠して、将来の台風等の発生リスクの変化を把握しうるモデルを開発した。その結果、日本近海では台風の来襲頻度は低下するが、接近する台風の規模は大きくなり、大規模台風の来襲頻度の上昇が懸念されることが明らかになった。

また、災害による経済的影響を計量化するために国際交易、国内輸送を内生化した2階層の空間的応用一般均衡モデルを構築した。これらの事象によって引き起こされる港湾や航路の機能停止が国際

経済に与える影響を計量するためのモデル構築を行った。これらの活動によって、実証的フレームワークを構築した。

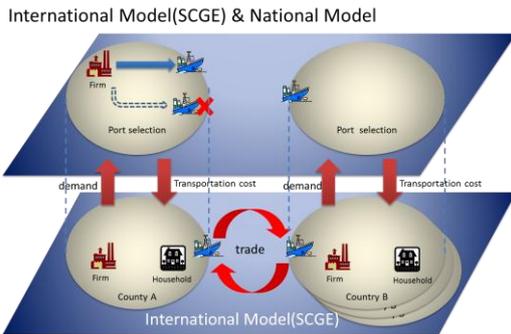


図-3 2階層の空間的応用一般均衡モデル

(3) 統合的政策シミュレーションモデルの構築とケーススタディ：

複数のハザードに対してリスク分析を実施し、政策分析を行うための方法論を以下のように構築した。

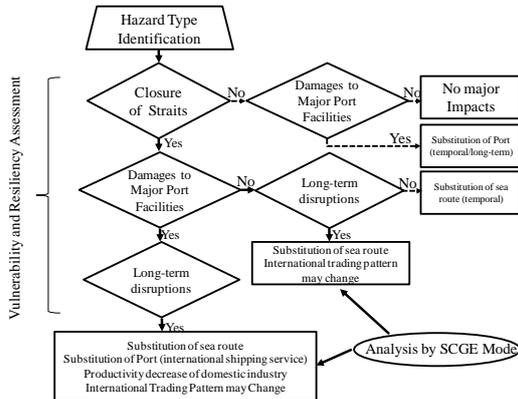


図-4 統合的リスク分析のプロセス

その上で、統合的政策シミュレーションを実施した。

マラッカ海峡を対象としたケーススタディでは、海峡の閉鎖をもたらすようなハザードが総合的に検討された。地震による津波やテロ、サイバー攻撃、船舶同士の衝突、そして、化学プラントの爆発による海峡封鎖の可能性である。



図-5 主要製油所の位置と航路の関係

その結果、最も留意すべきシナリオとして化学プラントの爆発による海峡封鎖の可能性を検討することが必要ということになった。この結果は、インドネシアの環境大臣やシンガポールの政策担当者なども交えた国際ワークショップで検討された結果に基づいている。

空間的一般均衡モデルを用いて、海峡およびシンガポール港の閉鎖の影響を分析した。その結果、マラッカ海峡のみの閉鎖では、シンガポールはあまり影響を受けないが、シンガポール港を中継港として利用する国々には大きな影響が及ぶことが示された。シンガポール港も利用不可能となるシナリオでは、他国の被害は大幅には増加することはないが、シンガポールの被害は飛躍的に増大することがわかった。

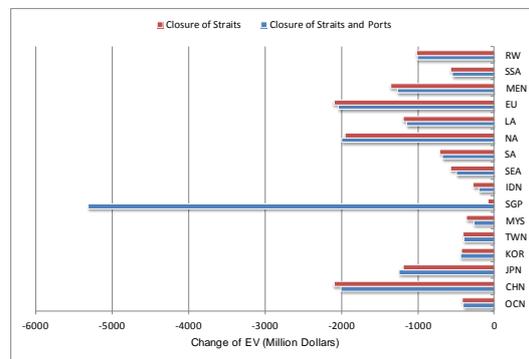


図-6 各国の厚生への影響（マラッカ海峡の航行停止、シンガポール港の機能停止）

産業別には、船舶輸送部門でシンガポールが影響を受ける代わりに、欧州における同部門の売り上げが増加している。しかし、航空輸送では逆の傾向がみられる。

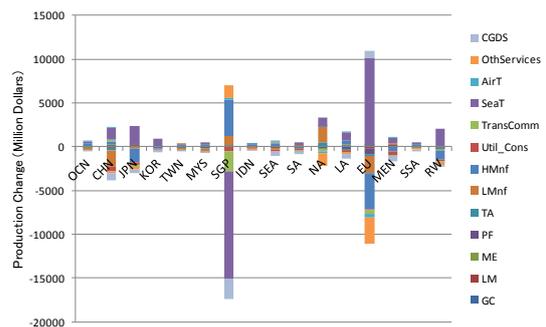


図-7 国別・産業セクター別の生産量の変化（マラッカ海峡の航行停止、シンガポール港の機能停止）

名古屋港の機能停止のシナリオでは、特に我が国の金属機械工業への影響が大きく、アメリカや欧州では同部門の生産量が増加することがわかった。

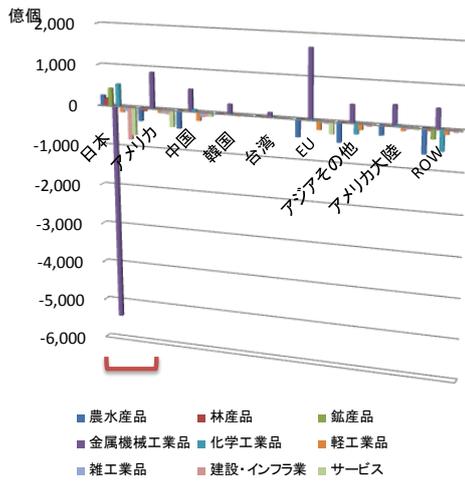


図-8 国別・産業セクター別の生産量の変化 (名古屋港機能停止シナリオ)

しかしながら、輸送コストの増大などを伴うため、各国の厚生は低下することがわかる。

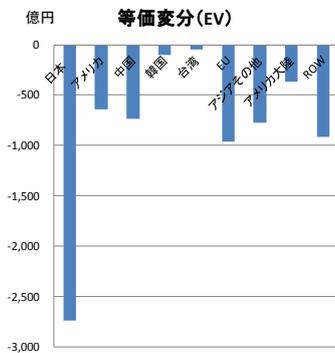


図-9: 各国の厚生への影響 (名古屋港機能停止シナリオ)

(4) 政策提言のための国際ワークショップの開催:

国際リスクガバナンス評議会 (IRGC) と共同して国際重要インフラのリスクガバナンスに関する国際会議を 2 回開催し、その成果は政策提案書 (Report : http://irgc.org/wp-content/uploads/2012/09/irgc_mgcireport_2011.pdf) として公表されている。さらに、いくつかの国際会議でも招待講演に招かれるなど国際的にも高く評価されている。

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 79 件)

- ① Yoshio Kajitani, Ana Maria Cruz, Hirokazu Tatano, Kazuyoshi Nakano, Junho Choi and Nario Yasuda, Economic Impacts Caused by the Failure of a Maritime Global Critical Infrastructure – A Case Study of Chemical Facility Explosion in the Straits of Malacca

and Singapore, Journal of Transportation Security (in Printing), 査読有,2013.

<http://www.springer.com/business+%26+management/production/journal/12198>

- ② 玉置 哲也, 多々納裕一, 今井瑛介, 相互依存性を考慮した港湾における防災投資行動分析, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 査読有, Vol.68, pp. I155- I166, 2012. <https://www.jsce.or.jp/committee/ip/monograph/file/ipv29-2012.pdf>

- ③ 辻尾大輝, 間瀬肇, 森信人, 安田誠宏, 地球温暖化による沿岸外力の変化を考慮した消波ブロック被覆堤の最適設計, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 査読有, Vol.36, No.2, pp.I871-I875, 2012. https://www.jstage.jst.go.jp/article/kaigan/68/2/68_I_871/_pdf

- ④ Suh, K.-D., Seung-Woo Kim, S.-W., Mori, N. and Mose, H., Effect of the climate changes on performance-based design of caisson breakwaters, J. of Waterway, Part, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE, Vol.38, No.3, pp.215-225, 査読有,2012. DOI:10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000126

- ⑤ 瀬木俊輔, 石倉智樹, 横松宗太, 動学的確率的マクロ経済モデルの長期的な防災都市計画への応用, 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol.68, No.3, 査読有, pp.129-143, 2012.

DOI : 10.2208/jscejpm.67.67_I_929

- ⑥ 松下哲明, 秀島栄三, 東日本大震災における上場企業の被害特性とBCPによる事業の早期復旧効果, 土木学会論文集 F6, 査読有, Vol.68, No.1, pp.35-34, 2012. DOI: 10.2208/jscejsp.68.25

- ⑦ 船瀬悠太, 多々納裕一, 土屋 哲, 港湾の機能停止の国際経済への影響分析手法—空間的応用一般均衡アプローチ, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 査読有, Vol.67, No.5, pp.243-245, 2011. DOI:10.2208/jscejpm.67.67_I_243

- ⑧ Norio Okada, Tao Ye, Yoshio Kajitani, Peijun Shi and Hirokazu Tatano, The 2011 eastern Japan great earthquake disaster: Overview and comments, International Journal of Disaster Risk Science, 査読有, Vol.2(1), pp.34-42, 2011. DOI: 10.1007/s13753-011-0004-9

- ⑨ 平石哲也, 米山 望, 馬場康之, 森 信人, 東 良慶, 安田誠宏, 間瀬 肇, 宮城県沿岸における 2011 東日本大地震による津波被災について, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 査読有, Vol.67, No.2, pp.1306-1310, 2011. DOI: 10.2208/kaigan.67.I_1306

- ⑩ Takemi, T., S. Nomura, Y. Oku and H.

Ishikawa, A regional-scale evaluation of changes in environmental stability for summertime afternoon prediction under global warming from super-high-resolution GCM simulations: A study for the case in the Kanto Plain, Journal of Meteorological Society of Japan, 査読有, Vol.90(A), pp.189-212, 2011.

DOI:10.2151/jmsj.2012-A10

- ⑪ 安福皓介, 竹林幹雄, 輸送ネットワーク構造を考慮した国際海峡の安全対策における協調可能性の分析, 土木学会論文集D3 (土木計画学), 査読有, Vol.67, No.5, pp.929-938, 2011.

DOI: 10.2208/jscejpm.67.67_I_929

[学会発表] (計 46 件)

- ① T.Tamaki and H.Tatano, Promoting Disaster Reduction Investment for Port Management Considering Interdependency, Third Conference of the International Society for Integrated Disaster Risk Management (IDRiM2012), 2012.
- ② 横松宗太, 西岡紗耶加, 梶谷義雄, 多々納裕一, 従属モデルにおける巨大災害ショックの長期的影響, 第 45 回土木計画学発表会・講演集, Vol. B4, No. 4, 2012.
- ③ 堂前光司, 竹林幹男, アジアと北米間基幹航路を対象とした荷主の経路選択国道のモデル化, 第 45 回土木計画学発表会, 2012.
- ④ Eizo Hideshima, Yukiho Miyabe and Kentaro Kawahara, Conditions of necessity for assistance at the time of disaster in emergency plan, 59th Annual North American Meeting of the Regional Science Association International, 2012.
- ⑤ Toshio Fujimi and Hirokazu Tatano, Evaluation of Ambiguity Effect of Earthquake Retrofit on Willingness to Pay, Proc. of International Conference on Building Resilience, Paper ID 142, 2011.
- ⑥ 梶谷義雄, 多々納裕一, 中野一慶, 崔俊浩, 安田成夫, 国際海峡封鎖のシナリオとその経済的影響評価に関する基礎的研究, 第 43 回土木計画学研究発表会, 2011.
- ⑦ 安藤 恵, 畑山満則, 自治体災害対応業務における情報伝達障害分析支援システムの提案, 第 74 回情報処理学会全国大会, 2011.
- ⑧ 横松宗太, 梶谷義雄, 西岡紗耶加, 多々納裕一, 東日本大震災の復興課程の経済分析モデル, 第 43 回土木計画学研究発表会, 2011.
- ⑨ 靱山嵩, 吉田護, 小林潔司, テロリスクを考慮した複数の社会基盤における情報開示戦略, 第 43 回土木計画学研究発表会, 2011.

[図書] (計 1 件)

- ① Fujimi, T. and Tatano, H., MANAGING SAFETY OF HETEROGENEOUS SYSTEMS: Decision under Uncertainty and Risks, Lecture notes in Economics and Mathematical Systems, Springer, pp.89-106, 2012.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

多々納 裕一 (TATANO HIROKAZU)

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号: 205207038

(2) 研究分担者

岡田 憲夫 (OKADA NORIO)

熊本大学大学院 自然科学研究科・教授

研究者番号: 00026296

石川 裕彦 (ISHIKAWA HIROHIKO)

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号: 60263159

間瀬 肇 (MASE HAJIME)

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号: 30127138

畑山 満則 (HATAYAMA MICHINORI)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号: 10346059

横松 宗太 (YOKOMATSU MUNETA)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号: 60335502

竹林 幹雄 (TAKEBAYASHI MIKIO)

神戸大学・海洋科学研究科・准教授

研究者番号: 80236497

藤見 俊夫 (TAKEBAYASHI MIKIO)

熊本大学大学院 自然科学研究科・助教

研究者番号: 40423024

土屋 哲 (TSUCHIYA SATOSHI)

鳥取大学・工学研究科・准教授

研究者番号: 70422623

梶谷 義雄 (KAJITANI YOSHIO)

京都大学・防災研究所・特定准教授

研究者番号: 80371441

能島 暢呂 (NOJIMA NOBUOTO)

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号: 20222200

松島 格也 (MATSUSHIMA KAKUYA)

京都大学・工学研究科・准教授

研究者番号: 60403848

秀島 栄三 (HIDESHIMA EIZO)

名古屋工業大学・工学研究科・准教授

研究者番号: 50243069

吉田 護 (YOSHIDA MAMORU)

熊本大学大学院 自然科学研究科・准教授

研究者番号: 60539550