

# SCGE モデルに基づく火山噴火降灰がもたらす 広域的な経済被害の評価

尹 笙安<sup>1</sup>・武藤 慎一<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 学生会員 山梨大学大学院医工農学総合教育部工学専攻 (〒400-8513 山梨県甲府市武田 4-3-11)

E-mail: g21tc003@yamanashi.ac.jp

<sup>2</sup> 正会員 山梨大学教授 大学院総合研究部工学域 (〒400-8513 山梨県甲府市武田 4-3-11)

E-mail: smutoh@yamanashi.ac.jp (Corresponding Author)

火山噴火がもたらす災害のうち、火山灰の降灰は、短期間のうちに広範囲に影響を及ぼすという特徴がある。そこで本研究では、空間的応用一般均衡モデル (SCGE モデル) を用いてそれらの数時間でも人口・産業の集積する首都圏を含める関東地方へ降灰をもたらす富士山大規模噴火による火山灰降灰がもたらす広域的な経済的被害の計測を試みる。

**Key Words:** Volcanic ash, SCGE model, Economic damage, Expressway

## 1. はじめに

世界には約 1500 の活火山があり、そのほとんどが環太平洋地帯に分布している<sup>1)</sup>。日本には、世界の活火山の約 1 割にあたる 111 もの活火山があり、世界有数の火山国である。その中で富士山は、50~100 年間隔で噴火を繰り返してきた。前回の 1707 年の宝永噴火からすでに 300 年以上が経過しており、今はいつ噴火してもおかしくない“スタンバイ状態”にあるとされている。

火山噴火が社会システムに及ぼす様々な影響のうち、火山灰は小さな粒子とはいえ、1 回の噴火で膨大な量が噴出し、風に乗って遠くまで届く。そして、それらが広範囲に降り積もり（これ以降、降灰をいう）、我々の日常生活へさまざまな被害をもたらす。降灰がもたらす被害には、直接的なものとして、数センチ以上の堆積厚で空調設備の室外機に不具合が生じることや、降灰による目・鼻・喉・気管支等に異常が生じるといった人的被害を含む多くの被害が生じる。

また、直接的被害のみならず、道路の速度低下・走行不能といった交通網の遮断等も挙げられる。火山灰の降灰は、短期間のうちに広範囲に影響を及ぼす特徴があり、都市機能が集積した地域が広く降灰に見舞われると、国民生活や社会経済活動に大きな混乱が生じることが懸念されている<sup>2)</sup>。そこで、本研究では、数時間でも人口・産業の集積する首都圏を含めた関東地方へ降灰をもたら

しうる富士山大規模噴による火山灰降灰がもたらす広域的な経済被害を試算する。

## 2. 既存研究及び本研究の位置付け

### (1) 火山灰の情報面に関する既存研究

ここでは、火山灰の特徴を説明し、火山灰がもたらす被害に関する既存研究および報告書等を整理する。まず、火山灰の性質や火山灰降灰のハザードと被害リスクに関する既存研究には、Jenkins et al<sup>3)</sup>がある。彼らの論文では、世界の多くの地域における火山噴火降灰の事例を収集し、火山灰の物理的性質から火山灰がインフラや社会経済活動に与える障害に至るまで、灰の厚さと主要な被害対象および被害レベル等の関係が解説されている。

また、火山灰に関する日本国内の報告書として、内閣府<sup>2)</sup>がある。この報告書では、大規模噴火の降灰によりどのようなことが起こるのかを検討し、これを基に大規模噴火時の広域降灰対策の基本的な考え方について検討を行っている。

### (2) 道路復旧に関する既存研究

災害発生時の道路復旧に関する既存研究は多数ある。例えば、大澤ほか<sup>4)</sup>では、現実の道路網として平成 28 年熊本地震で被災した熊本都市圏の道路ネットワークを対象としたケーススタディを行い、被災道路網の復旧優

先順位を決定するための手法を提案した。また、降灰と似たような災害として降雪がある。降雪を対象とした除雪計画に関する既存研究を注目すれば James F. et al.<sup>9)</sup>がある。James F. et al.<sup>9)</sup>は、除雪施策について、最小コストでの具体的なサービスの提供方法について提案している。

しかしながら、火山灰はガラスであり、水に溶けない特徴がある。そのため、単に水で洗い流すだけでは灰を除去できない点は、雪との本質的な違いである。降灰を除去するための道路復旧を検討する必要がある。その点を議論している玉置・多々納<sup>6)</sup>がある。玉置・多々納<sup>6)</sup>では、鹿児島の新燃岳の火山噴火降灰の事例を対象とし、降下火山灰に対する道路途絶の可能性に対し、評価を行う手法を提案した。その分析結果の一部、降灰が 1cm 程度になると機能停止になる道路が出てくる可能性が高くなり、4cm を越せばほとんどの道路が機能停止となると予測されている。また、降灰後の効率的道路を回復させるための除去順序も提案している。

### (3) 火山灰がもたらす経済被害評価の既存研究

玉置・多々納<sup>6)</sup>で指摘されてきたように、大都市においても降灰が観測される場合、交通ネットワークの寸断による甚大な経済損失を評価することは重要な課題である。災害の発生が様々な経済主体に影響を及ぼす。そのような複数の市場の災害に対する連鎖的効果を反映できる一般均衡仕組みが存在する。例えば、Tsuchiya et al.<sup>7)</sup>や山崎ほか<sup>8)</sup>が地震災害による交通機能の低下を想定した応用一般均衡 (CGE) 分析を行っている。さらに、土木計画学の分野において、応用一般均衡 (CGE) 分析を拡張し、交通整備が財価格や賃金変化等を介して地域間にもたらす経済波及効果が分析できる空間的応用一般均衡モデルに係る研究が精力的に行われてきた<sup>9-11)</sup>。

しかしながら、筆者らが知っている限りでは、火山噴火に伴う降灰がもたらす経済被害の評価に関する研究は数少ないのが現状にある。日本国内において、数少ない研究の中、石倉ほか<sup>12)</sup>がある。彼らの論文では、火山噴火降灰による物流影響への評価に産業連関構造を考慮し、地域間交易モデルと交通工学的手法である利用者均衡配分モデルである Interregional Commodity Flow Model(ICFM) を適用するための基礎的な方法論を整理し、噴火時に首都圏近郊へ降灰を生じさせることが予想される富士山、浅間山を例として、これらの降灰がもたらす交通障害による物流への間接的影響を検討した。

### (4) 本研究の位置付け

本研究は、空間的一般均衡モデル(SCGE)を援用し、火山降灰により、道路寸断を引き起こす地域間の各部門の経済的被害の計測を試算することを目的とする。本研究は、火山噴火降灰による地域間の交易の中断がもたら

す間接的影響を分析する点は石倉ほか<sup>12)</sup>と同様である。しかし、より詳細な道路ネットワークを想定する点と、一般均衡枠組みを採用する点、この 2 点が異なる。石倉ほか<sup>12)</sup>は、火山灰のような災害がもたらす影響は一時的であるため、ワルラス法則の前提条件を満たさず、平常時の市場状態を描写できないと指摘されている。しかしながら、2011 年の霧島新燃岳における噴火では交通機関の乱れや農作物の生育不良や「最近の火山灰による農業被害は平成元年から平成 2 年までの 60 回にも及ぶ噴火による農作物の生育不良、品質低下が見受けられた。一方で、本町では面積 1,190ha、金額にして 470,063 千円もの被害を受け、平年に比べ約 24.2%の減収になった」<sup>13)</sup>といった火山被害の実績が存在する。

それらに鑑み、降灰に伴う地域間輸送費や交通財価格の一時上昇という短期的被害と、降灰が農業財の供給を減少させるという農家へ及ぶ長期的被害は無視できず、SCGE モデルは適用できると考えられる。そこで、本研究は、火山灰がもたらす様々な影響の中、降灰の可能性のある範囲に含まれる高速道路の寸断や速度低下を想定し、SCGE モデルに基づいた空間的経済的被害を把握する。(図 1)

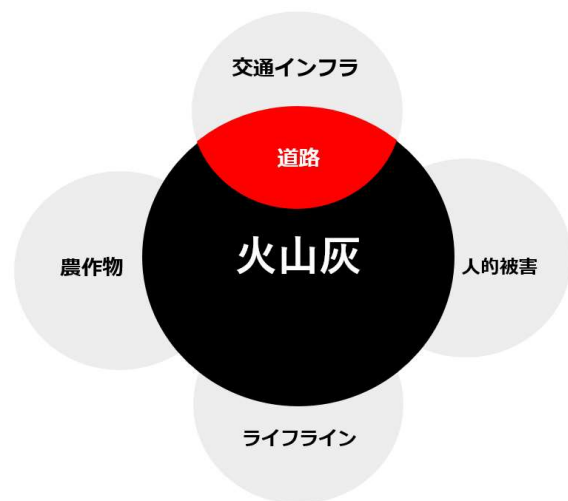


図 1 本研究の計測対象

## 3. 空間的応用一般均衡 (SCGE) モデル

SCGE モデルとは、地域ごとの経済取引が一般均衡体系によってモデル化され、さらに地域間取引もモデル化されている点に特徴がある。しかしながら、交通整備による交通所要時間短縮は直接交通サービス需要者に効果をもたらすという想定には、(i)運輸企業の生産効率性向上と付加価値変化が計測できない、(ii)財価格の変化に比例して交通費用が変化するという不自然な結果を生む。(iii)財価格や賃金変化等の波及効果が運輸企業の生産に影響しないといった問題が列挙される。そのため、



## 4. SCGE モデルによる降灰がもたらす経済被害の計測

### (1) 対象地域及びデータ

本研究は、火山噴火降灰による高速道路寸断が及ぼす影響、特に降灰による直接被害の生じた地域から、離れた地域への空間的経済被害の計測を目的としている。具体的には、降灰は高速道路ネットワークの一部区間を寸断させ、別ルートへの迂回や通行不能に伴う直接的な時間的損失と地域間移動不能等に伴う輸送費用の増加に影響を及ぼす。

降灰の情報面に関して、「降灰のドリルマップ」と「降灰の可能性マップ」<sup>17)</sup>が存在する。前者は噴火による季節別の降灰分布をシミュレーションしたものであり、気象庁・気象研究所によって作成されている。一方で、後者は、前者に基づきその 12 ヶ月分の結果を重ね合わせ、各地点で最も厚く堆積している降灰ドリルマップの降灰堆積深をその地点の降灰堆積深とし、降灰分布図を作成したものである。

### (2) 道路ネットワーク

本研究では、日本全国 47 都道府県間の移動手段として高速道路ネットワークのみが存在すると想定し、降灰によって引き起こされる道路寸断がもたらす日本全国 47 都道府県間の所要時間変化を計測する。このため、都道府県の県庁所在地をそれぞれセントロイドに設定した。それ以外にノードを設け、ノード間はリンク（高速道路）で結ぶ。(図 4)

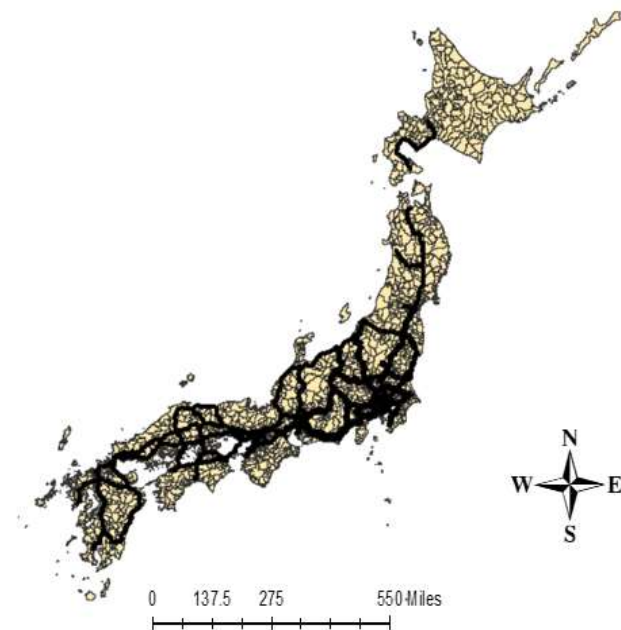


図 4 本研究の想定する道路ネットワーク

### (3) 最短経路探索

ここで、火山灰降灰による道路機能の低下がもたらす影響を考慮し、最短経路探索を行い、平常時と降灰後の各ゾーン間の所要時間変化を算出する。本分析では 4.(1) で説明した「降灰の可能性マップ」<sup>17)</sup>を参考に、降灰時に中央自動車道、東名高速道路、新東名高速それぞれ道路リンクの途絶や速度の大幅低下といった障害の発生を想定する(図 5, 図 6)。本研究の分析対象となる中央自動車道、東名高速道路、新東名高速道路それぞれの平常時から降灰時までの走行速度の変化等を検討する。

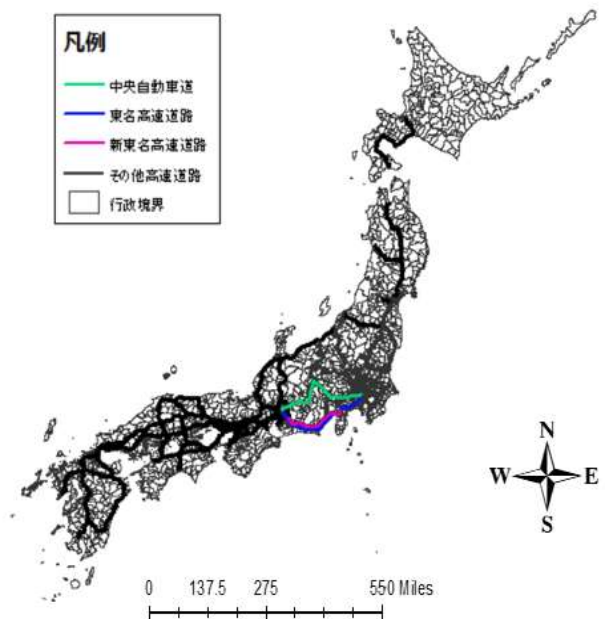


図 5 本研究の対象地域

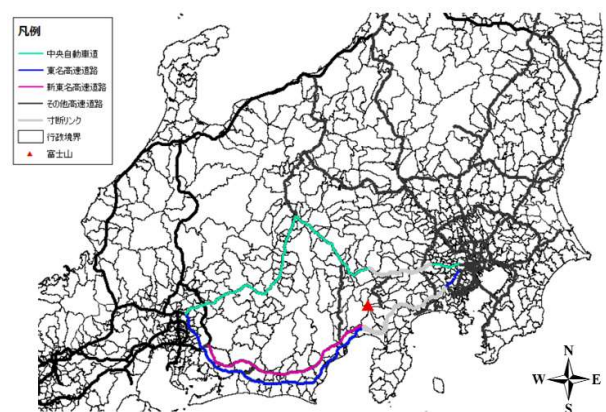


図 6 本研究の対象地域 (局所拡大)

中央自動車道・東名・新東名高速道路の平均走行速度に関して、平常時は 80 km/h と設定した。ただし、2019 年 12 月新東名高速道路が御殿場 JCT～浜松いなさ JCT 間の約 145km で全線 6 車線で開通した。最高速度規制が

120km/h に引き上げられたため<sup>18)</sup>、本研究はそれを参考し、新東名高速道路平常時の走行速度を 100 km/h と設定した。また、降灰の厚さが走行速度に及ぼす影響に関して、内閣府の公表資料(図 7)によれば、有珠山噴火の事例で降灰 2cm, 5cm 堆積すると、車両走行速度がそれぞれ 20 km/h, 10 km/h へ低下し、降下灰の厚さが 10cm を超えると、走行不能になるとしている。そこで、本研究はそれにしたがって、降灰による主要な高速道路の平均走行速度をそれぞれの設定を行う。具体的には、筆者らが「降灰の可能性マップ」<sup>17)</sup>を参考し、降灰範囲に含まれている全ての道路リンクを抽出した。そして、降灰可能な全ての道路リンクに対し、堆積厚によって速度低下や走行不能のリンクをそれぞれ設定していく。

最短経路探索を行う際に各高速道路の走行速度を設定する必要がある。しかしながら、降灰の影響を受ける道路リンクは有数であるため、高速道路の全ての区間を一気に降灰時の速度へ低下させるのは適切ではないと考えられるため、本研究はより現実に合わせて、降灰の可能性のある各道路リンクの速度を下げたうえで、降灰後の主な高速道路の走行速度の平均値を算出した。検討の結果は表 1 の通りである。最短経路探索により計測した平常時、降灰時の各都道府県間の所要時間変化の結果は図 8 である。結果により、東日本ー西日本ほぼ全区間の所要時間の増加が観察された。都道府県レベルで見ると、東京ー静岡、神奈川ー静岡、東京ー山梨、神奈川ー山梨といった区間では所要時間変化が約 2 倍増加しており最も大きい。次に、東京ー愛知、神奈川ー愛知間においても所要時間変化が若干確認された。

そして、各都道府県の経済活動を表す指標の 1 つとして OD 交通量も重要である。このため、本研究では、全国の貨物 OD 交通量を考慮した各都道府県における重み付け平均も算出した。添え字  $ij$  はそれぞれ都道府県を、 $\Delta Time_{ij}$  は  $ij$  間の降灰ありなしの所要時間変化、 $OD_{ij}$  は  $ij$  間の OD 交通量を表す。重み付け平均所要時間  $W_i$  が以下のように求められる。

$$W_i = \frac{\sum(\Delta Time_{ij} \times OD_{ij})}{\sum(OD_{ij})} \quad (1)$$

各都道府県における所要時間変化の重み付け平均の分布を図 9 に示す。図 9 により、所要時間変化とは大きな相違が生じていないが、しかしながら、神奈川は他の地域に比べ遥かに上回っていることがわかった。また、静岡、東京に加え、愛知の所要時間変化が大きく変化したことが確認された。これは、OD 交通量を加味した結果と考えられる。

表 1 降灰による高速道路走行速度変化

| 高速道路名   | 平常時      | 降灰後     | 増加率  |
|---------|----------|---------|------|
| 中央自動車道  | 80 km/h  | 47 km/h | -41% |
| 東名高速道路  | 80 km/h  | 49 km/h | -39% |
| 新東名高速道路 | 100 km/h | 62 km/h | -38% |

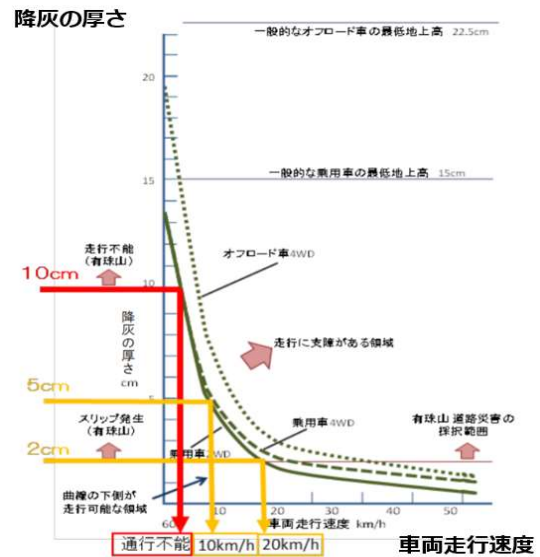


図 7 降灰堆積厚と車両走行速度の関係  
内閣府より

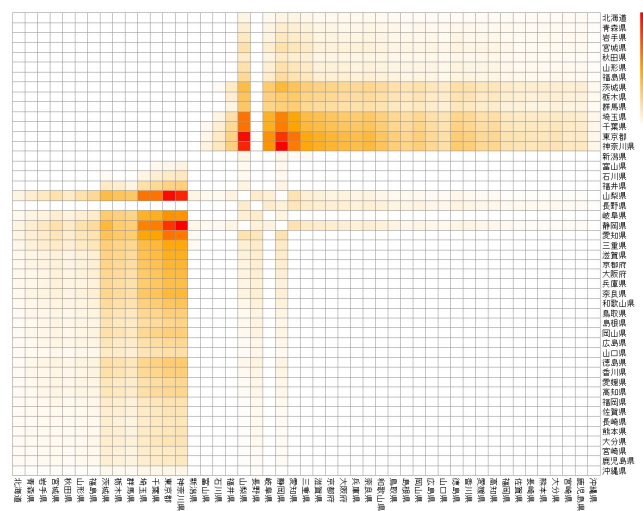


図 8 降灰による都道府県間所要時間増加率

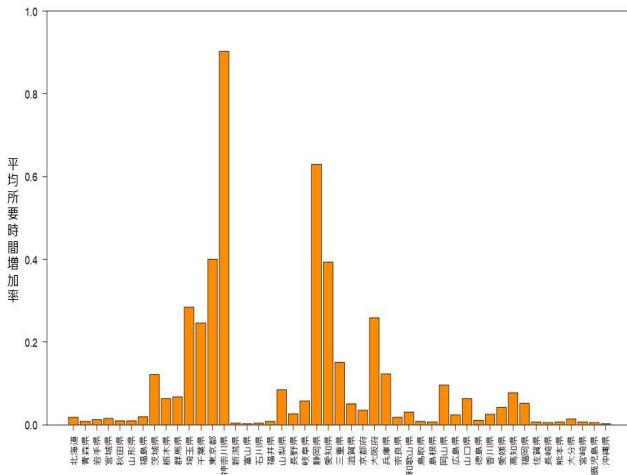


図 9 降灰による各都道府県における  
平均所要時間増加率

## 5. おわりに

### (1)本研究の結論

本研究は、交通生産内生型 SCGE モデルを基に、その交通サービスに係るモデルの拡張の可能性を示すとともに、火山噴火降灰が広域的経済被害の評価への適用の可能性も明らかにした。また、降灰による中央自動車道、東名高速道路、新東名高速道路の速度低下や走行不能が各都道府県間の所要時間変化に与える影響も示した。その結果、降灰が各都道府県間に所要時間の増加をもたらす、OD 交通量によって各都道府県における被害の水準が異なる可能性がある。

### (2)今後の課題

本研究の残りの課題を述べる。

第 1, 道路低下の速度の設定は、玉置・多々納<sup>6)</sup>の考え方を採用したほうがより現実的であろう。なぜなら、彼らは実際のデータを用いて降灰の厚さと道路寸断の確率の関係を統計的に推定されているため、統計的な有意性を持つと考えられる。第 2, 本研究では、移動手段としては高速道路のみが存在すると想定されている。より現実的には、鉄道・航空も一体的に考慮したほうが正確であろう。第 3, 火山灰による農業財の価格下落は長期的である。そのため、市場機能を回復するのにある程度時間がかかる。しかも、現在、日本の農家の内、専業農家は横ばいになっている状況であり、農作物の被害がそういった農家に影響を及ぼし、社会厚生観点から望ましくない。そのため、今後、農家の行動や農業部門の被害を明示的に扱う方法も考えるべきである。例えば、農作物と土地消費量を内生的に扱う都市経済モデルを SCGE モデルに導入する可能性を検討したい。

## 参考文献

- 1) 内閣府 HP：内閣府の政策，防災情報のページ，火山対策，わが国の火山災害対策，世界の火山
- 2) 内閣府：中央防災会議，防災対策実行会議；大規模噴火時の広域降灰対策検討ワーキンググループ：大規模噴火時の広域降灰対策について一首都圏における降灰の影響と対策一，～富士山噴火をモデルケースに～（報告）
- 3) Jenkins, S.F, Wilson, T.M, Magill, C.R, Miller, V, Stewart, C, Marzocchi, W, Boulton, M (2015) Volcanic ash fall hazard and risk Technical background paper for the UN-ISDR Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2015, Global Volcano Model and IAVCEI.
- 4) 大澤脩司，中山晶一郎，藤生慎，高山純一，溝上章志：アクセシビリティ指標を用いた自然災害時の道路網の復旧順位設定手法に関する研究，土木学会論文集 D3（土木計画学）73 巻 5 号，2017
- 5) Campbell, James F., and A. Langevin: Operations management for urban snow removal and disposal, Transportation Research Part A, Policy and Practice Vol.29, No.5, pp.359-370, 1995.
- 6) 玉置哲也，多々納裕一：降下火山灰による道路機能障害評価とその復旧順序決定手法の提案，自然災害科学，J. JSNDS 33 特別号，2014
- 7) Tsuchiya, S., Tatano, H. and Okada, N.: Economic loss assessment due to railroad and highway disruptions, Economic Systems Research, Vol.19, No.2, pp.147-162, 2007
- 8) 山崎雅人，小池淳司，曾根好徳：南海トラフ巨大地震による製油所被災の経済被害推計：多地域応用一般均衡モデルによる分析，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol. 72, No. 5, pp. I 111-I 121, 2016.
- 9) 武藤慎一，岸昭雄，森杉壽芳，河野達仁，上泉俊雄，青木優：SCGE モデルによる新東名高速道路整備の便益評価，土木計画学研究・講演集 Vol. 45 2012
- 10) 小池淳司，川本信秀：集積の経済性を考慮した準動学 SCGE モデルによる都市部交通渋滞の影響評価，土木計画学研究論文集，Vol. 23, pp. 179-186, 2006
- 11) 小池淳司，細江宣裕，下村研一，片山慎太郎：独占的競争モデルによる災害の空間的応用一般均衡分析，国民経済雑誌，第 196 巻第 4 号，pp. 1-18, 2007
- 12) 石倉智樹，尾山梓：火山噴火降灰による交通および物流への広域的な影響評価に関する基礎的研究，土木学会論文集 D3(土木計画学)，Vol. 74, No. 5, 2018
- 13) 阿蘇町 HP：防災情報，降灰による農業被害
- 14) 武藤慎一，東山洋平，河野達仁，福田敦：交通生産内生型 SCGE モデルの開発，土木学会論文集 D3(土木計画学)，75(3)，139-157, 2019
- 15) 内閣府：降灰による影響の想定の方針，2019
- 16) 諏訪仁，大塚清敏，野畑有秀：火山噴火の降灰による建物被害評価法，大林組技術研究所報 No. 84 2020
- 17) 山梨県 HP：富士山ハザードマップ，降灰の可能性マップ，2021
- 18) 交通局交通企画課：高速道路における 100km/h を超える規制速度の試行について，広報資料，2020

(Accepted March 6, 2022)