

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 22 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2013～2016

課題番号：25289157

研究課題名（和文）人口減少下の持続的都市間交通ネットワーク計画論の確立

研究課題名（英文）Sustainable intercity transportation network planning under decreasing trend of population

研究代表者

奥村 誠（Okumura, Makoto）

東北大学・災害科学国際研究所・教授

研究者番号：00194514

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：都市間交通需要が縮小傾向にある日本では、航空、鉄道、高速バスなどの間の乗継を活かして重複を避けながら、少数の路線に絞ってサービスを残存させ、同時に多くの需要に応えるというネットワークの「選択と集中」が不可欠である。本研究は、旅客の旅行行動の理解と実態分析に基づく誘導策を備え、実現可能性の高い都市間交通ネットワークの最適化手法の確立を目指した研究を実施した。需要減少期の旅行先・モード間の選択行動分析、サービスレベルが旅行発生回数に与える影響の分析、異なる要求性能に対応するネットワーク形状の分析、需要を内生化した最適ネットワーク計画モデルの開発などの研究を実施した。

研究成果の概要（英文）：In Japan inter-city travel demand tends to reduce, then, only a few transportation service can sustain by gathering enough number of passengers in near future. In many OD pairs, passengers must find a longer route using the few sustained transport services, sometimes in different modes. In order to provide usable routes to passengers of many OD pairs, we must investigate efficient network structure and corresponding traffic flows. This project includes (1) destination and modal choice behavior analysis using GNL model permitting heterogeneous structure of elasticity among, (2) travel frequency distribution analysis considering age, generation and regional differences, which enable to assess the effect of service level changes, (3) optimal network structures for different performance criteria, and (4) proposal of optimal network planning model with endogenized demand.

研究分野：土木計画学

キーワード：交通計画 国土計画 都市間交通 数理モデル

1. 研究開始当初の背景

(1) 都市間交通需要が縮小傾向にある日本では、航空、鉄道、高速バスなどの交通サービスを同時に持つことは困難となり、相互の乗継ぎを活用してサービスの重複を避けながら、少数の路線に絞ってサービスを残存させるという「選択と集中」が必要となる。このとき、異なる交通機関や路線間の乗継ぎを利用者に行わせるには、都市間交通旅客の特性の理解や行動実態の分析に基づく誘導策が必要となる。

(2) 航空、鉄道、高速バスなどの交通サービスの統合利用を軸に、環境負荷も小さく持続可能なネットワークを計画するための数理計画モデルが有用である。

(3) この問題は、国土の都市間を結ぶ主要な交通サービスを整備した後に交通需要が量的に縮小する状況で初めて認識されるため、現時点では日本のみが経験している。しかし近い将来、世界の多くの国が直面する問題であり、国際的な重要性がある。

2. 研究の目的

本研究の研究期間内に達成すべき目的として、次の4つを設定した。

(1) 需要減少期における旅客行動について、第5回全国幹線旅客純流動調査データ、追加的なアンケート調査データを結合し、行動の不可逆性やリスク対応を含めた行動の分析方法を確立する。

(2) 需要とサービスレベルとの累積的相互関係を踏まえ、人口縮小下でも利便性が確保できる持続的な交通ネットワーク構造、サービスレベルを求める最適化手法を確立する。

(3) 上記の研究成果と、今後の経年的変化、アジアレベルの航空業界や規制等の状況を総合化し、都市間交通ネットワーク計画の方法論を確立する。

(4) 今後の都市間交通調査の改善方法、関係調査との統合分析方法について提言を行う。

3. 研究の方法

先行の平成21-24年度基盤研究(B)の知見を活かし、以下の研究を推進することとした。実務者や関連する分野の研究者との情報交換の仕組みを作るため、土木学会土木計画学研究委員会の中に都市間旅客交通研究小委員会を設置していただき、航空交通研究小委員会と合同で新幹線開業前後の石川県のヒアリング・検討会を行うなど、本研究と関連する議論を行った。

(1) 需要減少期の交通需要の傾向と交通行動の分析(塚井, 金子, 日比野)

(2) ネットワークの要求性能と最適化の概念整理(奥村, 大窪, 金)

(3) 将来 OD 需要の設定と各種の入力条件の作成(塚井, 金子, 日比野)

(4) 実用的な最適化アルゴリズムの検討(奥村, 大窪, 金)

(5) ネットワーク計画案の多面的評価と実現化のための政策の検討(全員)

(6) 研究成果をまとめ、セミナー・講習会等で実務者へ還元。特に第6回以降の純流動調査の改善の提言(全員)

このうち、課題(1)の交通行動調査と交通分析方法について、研究分担者の塚井准教授がWeb調査を併用した効率的な交通調査方法の研究をテーマとする新規の基盤研究(B)を獲得しており、本課題との密接な連携を保ちながら研究を進めた。また、課題(2)(3)の検討を進める中、ネットワークレベルのサービス水準の変化が必要に与えるフィードバック的な影響を内生化する重要性が明らかとなった。最終年度にはこの課題に取り組み、OD間の需要を線形関数を用いて内生化し、混合整数二次計画問題による最適ネットワーク計画モデルの構築を行った。

4. 研究成果

以下では、課題(1)(2)及び、上述した需要内生型最適ネットワーク計画モデルの研究成果を述べる。

(1) 需要減少期の交通需要の傾向分析

需要減少期の旅行先・モード間選択行動旅行先・モード間の選択モデルを、多様な交差弾力性の構造を表現できるGNLモデル(図-1)として定式化し、5時点・20年分の全国幹線旅客純流動調査の流動データを用いてパラメータの推定を行った。その際、分解アプローチを用いて、非観測共変量によるバイアスを除去している。交通サービスの有無が旅行先構成比に与える影響を正しく推計するためには、両方に影響を与える「共変

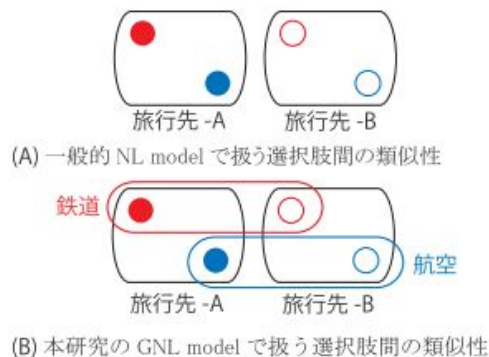


図-1 考慮する選択肢間の類似性

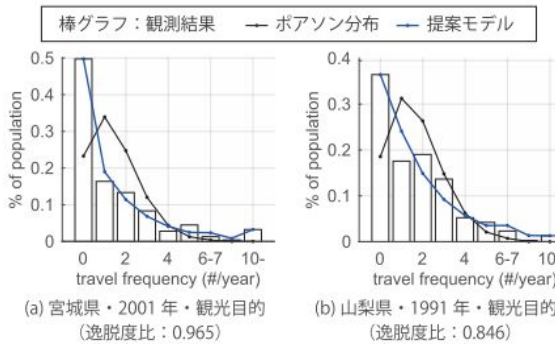


図-2 旅行回数分布モデルの適合性

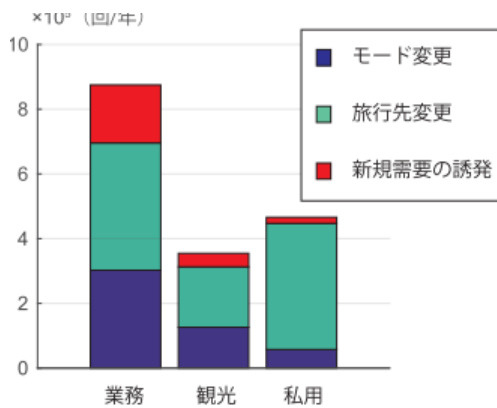


図-3 北陸新幹線開業による石川・富山への流入量増加の内訳

量」を調整する必要がある。ここでは、旅行先・モード構成比の差異のなかの、都市の社会経済状況や気候といったゾーン単位の差異を分離・調整するという、分解アプローチを適用してモデルを作成した。

サービスレベルの旅行発生量への影響

5 時点・20 年分の社会生活基本調査データを用いて、わが国における旅行回数分布の特徴とその経年変化を明らかにした。その際、旅行回数分布を、旅行回数を確率的に選択する「回数選択層」と、全く都市間旅行を行わない「ゼロ頻度層」、および確定的に 10 (回/年) 以上旅行を行う「高頻度層」の 3 種類の層に分けられると考え、それぞれの構成比をしめす 2 つのパラメータと、回数選択層の平均値を示すパラメータの合計 3 種類で、旅行回数分布を表現した(図-2)。

次に分解アプローチを適用して 3 パラメータの経年変化を年齢階層間の差異、世代間の差異、ゾーン・時点ごとの差異に分解した。その結果、高齢者はゼロ頻度層の構成比が大きく、平均旅行回数が他の年齢よりも少ない。業務目的・観光目的で後年世代ほど回数選択層の旅行回数が少なく、「若者の旅行離れ」が確認できる。ゾーン・時点毎の差異を見ると観光目的で経年的にゼロ頻度層率が増加している。

交通サービスの開設・廃止の影響分析

旅行先・モード選択モデルと旅行回数分布モデルを統合的に利用する方法を開発し、ケ

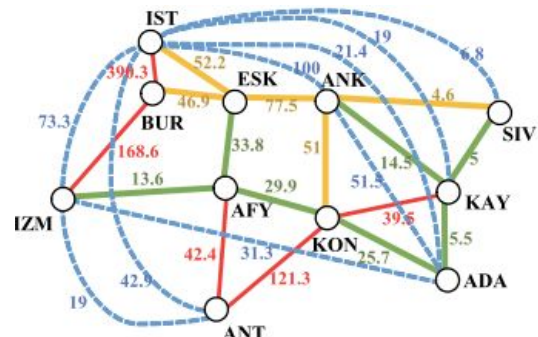


図-4 トルコにおける社会的費用最小化ネットワークの構造

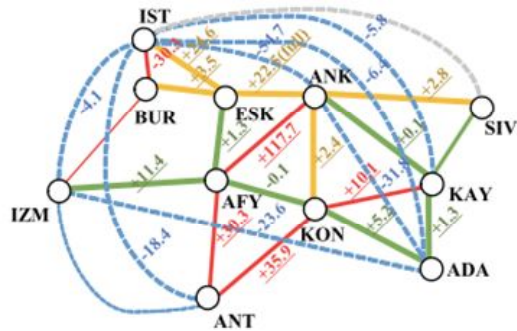


図-5 30%CO₂ 排出量削減時のトルコにおける最適ネットワーク構造

ースタディーとして北陸新幹線の開業効果を分析した(図-3)。

交通サービスの開設・廃止による都市間旅行パターンへの影響に関して次の 3 つの知見を得た。第 1 に、交通サービスの開設・廃止が、ゾーンの人口や施設の立地の変化を介して旅行先選択における「間接効果」は観光目的では存在せず、業務と私用目的では負であり、ストロー効果がみられる。第 2 に、交通サービスの開設(廃止)によって旅行回数は増加(減少)する。一方で「年間にまったく旅行しない」という層の構成比は都道府県ごとに大きく異なり、さらに経年的に増加しているが、交通サービスの変化はこれを変える影響はない。第 3 に、交通サービスの開設・廃止による都市間旅行パターンの変化のほとんどは、「旅行先変更」によるものであり、全体量を増やす効果は小さい。

(2) 要求性能と最適ネットワーク

リンクサービスの有無及び頻度を操作変数とする混合整数線形計画モデルによる最適ネットワーク計画モデルを構築し、都市間の OD 需要を所与としたうえで、利用者視点からの総交通費、総所要時間、総一般化費用、運営者視点からの総運行費用、社会的視点からの総環境負荷などを目的関数・制約条件に取り上げ、最適なネットワーク構造の違いを分析した(図-4、図-5)。さらに、複数の構造におけるこれらの指標間のトレードオフ構造を比較した(図-6)。

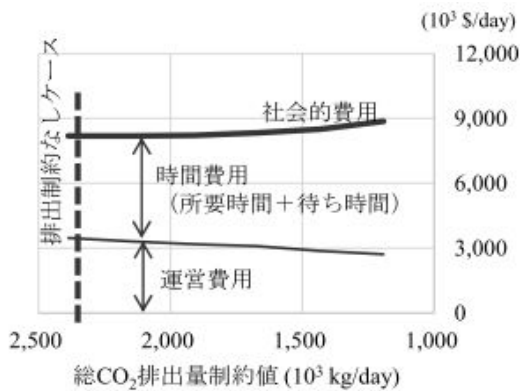


図-6 トルコにおける CO2 排出制約値と社会的費用のトレードオフ構造

(3) 需要内生型ネットワーク最適化モデル
ネットワークレベルのサービス水準の変化が需要に与えるフィードバック的な影響を明示的に考慮するため、OD 間の需要を線形関数を用いて内生化した最適ネットワーク計画モデルの構築を行った。

需要関数が線形の場合、OD ごとの利便性を消費者余剰で評価すれば 2 次関数により表現できる。ここでは、各リンクのサービスの維持に必要な費用を固定費用と変動費用に分け、変動費用は利用者が負担し、固定費用の総和を政府が一定の財源から負担するものとする。政府の負担額の上限の下で、消費者余剰の総和の最大化を求める問題は、リンクのサービスの有無を意味する 0-1 変数を含む、混合整数二次計画法モデルとして定式化できる。

リンクごとの OD 別交通量を変数と置く定式化が簡単であるが、図-7 のような小規模のネットワークにしか適用できない。今後は、出発地別交通量を変数とする二次計画問題と、その問題の解に適合する OD 別交通量を求める補助線形計画問題を交互に解く形にするなどの工夫により、実用サイズのネットワークへの適用を目指す必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 27 件)

中川 拓朗、鈴木 康平、金子 雄一郎、都市間交通におけるリンク途絶による影響分析、土木計画学研究・講演集(CD-ROM)、査読無、53、No.10-08、2016、pp.2445-2450

大窪 和明、地方路線における都市間交通事業者間のスケジュール競争モデル、土木計画学研究・講演集(CD-ROM)、査読無、53、No.10-15、2016、pp.2430-2433

CANH Xuan Do, TSUKAI Makoto, Inter-regional Passenger Demand Surveyed by Repeated Web Questionnaire、土木計画学研究・講演集(CD-ROM)、査読

人口規模	0.67~1.00	0.53~0.66	0.44~0.52	0.10~0.43
最適形状				
固定費用	50百万円	40.2百万円	24.4百万円	4.8百万円
人口規模	0.09	0.07~0.08	0.01~0.06	九州の都市間交通網について、人口規模に応じた最適な交通網の形状を計算した
最適形状				
固定費用	4.6百万円	0.8百万円	0.6百万円	

図-7 需要規模に対応する最適ネットワーク形状の変化

無、53、No.10-02、2016、pp.2412-2415

山口 裕通、奥村 誠、都市間旅行パターンに対する空港の存在効果、土木計画学研究・講演集(CD-ROM)、査読無、53、2016、No.10-01、pp.2397-2411

金子 雄一郎、佐野 在人、横山 茂樹、井上 真志、リンク要領制約を考慮した都市鉄道ネットワークの OD 間接続性評価、鉄道工学シンポジウム論文集、査読有、20 巻、2016、pp.233-240

大窪 和明、鈴木 春奈、複数管理者による交通ネットワークにおける接続脆弱性評価、土木構造・材料論文集(CD-ROM)、査読有、32、2016

山口 裕通、奥村 誠、宿泊観光旅行発生パターンの基本的特徴と経年変化、土木学会論文集 D3、査読有、72(6)、2016、pp.248-260

大窪 和明、佐々木聖悟、階層ベイズモデルを用いた都市間交通需要構造の分析、土木計画学研究・講演集(CD-ROM)、査読無、52、2015、pp.1105-1109

山口 裕通、奥村 誠、Generalized Nested Logit Model による航空路線の新設・廃止に対する旅客行動の推定、土木計画学研究・講演集(CD-ROM)、査読無、52、2015、pp.549-557

山口 裕通、奥村 誠、年齢構成に着目した都市間交通需要の時空間分析、土木計画学研究・講演集(CD-ROM)、査読無、51 (No.164)、2015、12 ページ

Do Xuan CANH, Makoto TSUKAI, Sample comparison in net passenger

transportation survey and home based web survey、土木計画学研究・講演集(CD-ROM) 査読無、51 (No.166) 2015、5 ページ

Hiromichi YAMAGUCHI, Makoto OKUMURA、Frequency Distribution of Leisure Travel by the Japanese: The Past and Future、Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies、査読有、No.11、2015、pp.566-579

Huseyin TIRTOM, Makoto OKUMURA, Hiromichi YAMAGUCHI, Rubel DAS、Network Fortification Model for Intercity Passenger Transportation、Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies、査読有、No.11、2015、pp.75-89

山口 裕通、奥村 誠、Tirtom Huseyin、時間価値分布に応じた航空と高速鉄道の最適混合ネットワーク形状、土木計画学研究・講演集(CD-ROM) 査読無、50(No.128) 2014、7 ページ

TIRTOM Huseyin、奥村 誠、山口 裕通、DAS Rubel、都市間交通ネットワークの強靭化計画モデル、土木計画学研究・講演集(CD-ROM) 査読無、50(No.183) 2014、8 ページ

大窪 和明、織田澤利守、都市間交通ネットワークにおける事業者間の競合と協力が交通利便性にもたらす影響、土木計画学研究・講演集(CD-ROM) 査読無、49(No.176) 2014、7 ページ

片川 儀治、塚井 誠人、統計的に安定な因果推定による都市間交通需要モデルの改良、土木計画学研究・講演集(CD-ROM) 査読無、49 (No.175) 2014、4 ページ

富田 顕嗣、日比野 直彦、森地 茂、企画割引の更なる利用に向けた高速道路における周遊行動の実態把握とその改善、土木計画学研究・講演集(CD-ROM) 査読無、49 (No.182) 2014、8 ページ

奥村 誠、山口 裕通、大森 一樹、都市間トリップ発生パターンの旅行目的巻比較、土木計画学研究・講演集(CD-ROM) 査読無、49 (No.174) 2014、10 ページ

金子 雄一郎、都市間交通の脆弱性と強靭性、ACe 建設業界、査読無、No.2014(7) 2014、p.30

②④ 小平 裕和、日比野 直彦、森地 茂、自動車を使用した観光行動の観光統計及び交通統計の個票データを用いた時系列分析、土木学会論文集 D3、査読有、70(5)、2014、

pp.I-423-432

② Hiromichi Yamaguchi、Makoto Okumura、Time Value Distribution and Multi-modal Intercity Transport Network Shape: Theoretical Analysis for the Typical Setting、Procedia – Social and Behavioral Sciences、査読有、No138、2014、pp.602-611

③ Tirtom Huseyin、山口 裕通、奥村 誠、金 進英、低炭素化政策が都市間旅客交通ネットワークに与える影響、土木学会論文集 D3、査読有、70(5)、2014、pp.I-819-828

④ 山口 裕通、奥村 誠、Tirtom Huseyin、金 進英、地域-空港関係指数に基づく空港集約戦略、土木計画学研究・講演集(CD-ROM) 査読無、48 (No.111) 2013、10 ページ

⑤ 金子 雄一郎、相沢 圭俊、荒谷 太郎、東日本大震災後の都市間交通の状況と需要特性に関する研究、第 33 回交通工学研究発表会論文集、査読有、33 巻、2013、pp.245-250

⑥ Huseyin Tirtom、Hiromichi Yamaguchi、Makoto Okumura、Analysis of Potential Multimodal Connections in Intersity Network of Turkey、Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies、査読有、Vol.9、2013、CD-ROM

⑦ 山口 裕通、奥村 誠、Tirtom Huseyin、都市間交通需要の LOS 弾力性に関する研究、土木学会論文集 D3、査読有、69(5)、2013、pp.629-638

[学会発表] (計 15 件)

Canh Xuan Do、Makoto Tsukai、Improving estimation of inter-regional passenger flows model by zero observation treatment and model performance、World Conference on Transport Research (WCTR) 2016、2016.7.10-7.15、Shangai (China)

Taku KANZAWA、Makoto TSUKAI、Masaaki FUSE、Junyi ZHANG、An odds analysis for route choice problem using electronic toll collection system data、World Conference on Transport Research (WCTR) 2016、2016.7.10-7.15、Shangai (China)

M.TSUKAI、T.TSUDA、Development of Mixed Distribution Model in Spatial Econometrics for "Zero-count" Observation、Annual Meeting of Spatial Econometrics Association、2016.6.13-6.15、Rome (Italy)

塚井 誠人、Do Xuan CANH、Web 調査による旅客流動の把握、第 22 回鉄道技術

連合シンポジウム、2015.12.9-12.11、東京大学(東京都)

大窪 和明、鈴木 春奈、複数の管理主体を考慮したネットワークの脆弱性評価、2015 年度応用地域学会研究発表大会、2015.11.28-11.29、慶応大学(東京都)

H. YAMAGUCHI, M. OKUMURA, Temporal and Spatial Differences of Leisure Travel Frequency Distribution in Japan、International Symposium on Speed-up and Sustainable Technology for Railway and Maglev Systems、2015.11.10-11.12、幕張メッセ(千葉県)

H. YAMAGUCHI, M. OKUMURA, Evaluating the Importance of Air-Service for Travel Demand: Empirical Analysis of Japan、2015 ATRS world conference、2015.7.2-7.5、Singapore (Singapore)

山口 裕通、奥村 誠、観光旅行回数分布の年齢-世代間分析、第 21 回鉄道技術連合シンポジウム、2014.12.06、朱鷺メッセ(新潟市)

Huseyin Tirtom, Hiromichi Yamaguchi, Makoto Okumura, Jinyoung Kim, Low-carbon Design for Intercity Passenger Transport Network of Turkey、The 4th Asian Regional Science Conference、2014.8.6、Seoul (Korea)

H. YAMAGUCHI, M. OKUMURA, Time Value Distribution and Multi-modal Intercity Travel Network Shape: Theoretical Analysis for the Typical Setting、ICTTS 2014、2014.8.1、Shaoxing (China)

Makoto TSUKAI, Inter-regional Passenger Demand Survey by Using Web Site、- Data Quality and Limitations-、Air Transportation Studies 2014、2014.7.22-7.25、Bordeaux (France)

Hiromichi YAMAGUCHI, Makoto OKUMURA, Does the public subsidy to direct air service always improve the welfare of consumers?、Air Transportation Studies 2014、2014.7.22-7.25、Bordeaux (France)

Makoto Okumura, Hiromichi Yamaguchi、Private purpose inter-regional travels - An integrator of Historical inter-regional migrations、The 17th Uddevalla Symposium、2014.6.13、Uddevalla (Sweden)

山口 裕通、奥村 誠、Tirtom Huseyin、旅客の時間価値異質性を考慮した最適マルチモーダルネットワークの形状、第 20 回鉄道技術連合シンポジウム、2013.12.5、オリンピック記念青少年総合センター(東京都)

Huseyin Tirtom, Hiromichi Yamaguchi, Makoto Okumura, Network Effects in Multimodal Intercity Transport System - Turkish HSR Development Case、5th Asian Regional Science Conference、2013.8.8、Haolien (Taiwan)

〔図書〕(計 1 件)

平川 新、今村文彦、東北大学災害科学国際研究所編著(分担)奥村 誠、明石書店、東日本大震災を分析する 1. 地震・津波のメカニズムと被害の実態、2013、pp.239-249

〔その他〕

ホームページ等
都市間旅客交通研究小委員会のページ
http://strep.main.jp/modules/pico3/index.php?content_id=25

6. 研究組織

(1) 研究代表者

奥村 誠 (OKUMURA, Makoto)
東北大学・災害科学国際研究所・教授
研究者番号：00194514

(2) 研究分担者

塚井 誠人 (TSUKAI, Makoto)
広島大学・工学研究院・准教授
研究者番号：70304409

金子 雄一郎 (KANEKO, Yuichiro)
日本大学・理工学部・教授
研究者番号：40434112

日比野 直彦 (HIBINO, Naohiko)
政策研究大学院大学・政策研究科・准教授
研究者番号：10318206

大窪 和明 (OKUBO, Kazuaki)
埼玉大学・理工学研究科・助教
研究者番号：50546744

金 進英 (KIM, Jinyoung)
東北大学・災害科学国際研究所・助教
研究者番号：30467451
(平成 26 年度まで研究分担者)

ダス ルーベル (DAS, Rubel)
東北大学・災害科学国際研究所・助教
研究者番号：40753281
(平成 27 年度より研究分担者)