

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：30108

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23530441

研究課題名(和文) 地域を活性化させる次世代型生産ネットワーク構造設計システムの開発

研究課題名(英文) Development of next-generation production network structure design system to activate the regions

研究代表者

川上 敬 (Kawakami, Takashi)

北海道科学大学・工学部・教授

研究者番号：10234022

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：製造業を始めとした産業を取り巻く環境が近年大きく変化する中、これらに適用可能な21世紀型の新しい生産構造や生産マネジメントの概念が必要とされている。そこで我々は地域が再生・活性化するためのものづくりの最適化戦略の一つとして、仮想地域集積の概念に焦点をあて、理論的な議論をベースに、距離や立地の制約条件を超え、地理的空間のへだたりが生産文化的に高付加価値を創出するような生産ネットワーク構造を導出しようと試みている。そこで本報告では、経営学的ケーススタディ手法と計算論的経営学の手法を組み合わせ、経営資源の多様度が付加価値を創出すると仮定し、最適化問題としてのモデリングを行った。

研究成果の概要(英文)：In an increasingly globalized world, many researchers have examined the creation of a network structure to overcome physical difficulties. However, most researchers have focused on small and homogeneous networks such as an industrial complex in these domains. This is because physical factors of management, such as the geographical distances between production bases, generally create certain difficulties, including increased transportation costs and communication failures. However, geographical distances would be advantageous for production industries if they could create considerable added value by overcoming these physical difficulties. In this study, we suggest a manufacturing network for generating added value from geographical distance from the viewpoint of regional management resources. On the basis of network framework discussed here, we examine a computer simulation and a case study of a manufacturing company that constructed a next-generation network.

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：経営学

キーワード：経営情報 ネットワーク構造の最適化 生産システム 仮想地域集積

1. 研究開始当初の背景

これまで、ものづくり企業の地域的活性化には産業集積が有効な方法論として認識されてきた。しかしながら従前の自然発生的な産業集積や大企業が関連企業を巻き込む形で戦略的に形成する集積手法は、いかなる地域にも適用できる形態ではなく、かつ中小企業が取り組める手法ではなかった。

特に報告者の居住する北海道地区などは伝統的にもものづくり産業が弱く、また首都圏などの大都市圏から地理的な距離が大きいため産業集積には不利であった。例外として、IT産業は取扱うほとんどの資源が情報ネットワーク上でやり取り可能なため、地理的距離のへだたりを解消することが可能で、札幌駅北口周辺にはサッポロバレーと呼ばれるIT企業の集積が実現されている。しかしながら実体としての「モノ」を取扱う製造業では、地理的距離がコストに直接的に反映し、容易に乗り越えることはできない。

そこで我々は、中央依存型経済および大企業先導型の産業構造からの脱却を図り、これまで弱い立場にあった地方・地域の活性化を目指すための次世代型ものづくりネットワーク構造を明らかにする必要があるのではないかと考えていた。

本研究課題の代表者はこれまで種々のスケジューリング問題を対象に、解析的手法およびメタヒューリスティック手法を用い解決する最適化システムを開発してきた。これらはいくつかの成果を除き、モデルデータを対象問題としての最適化精度および効率を追求する研究であり、計算の精度やスピードに関しては十分な成果を示したが、地域の企業等に対して多大なる貢献をしたとは言えない反省点があった。また、複雑ネットワーク理論を用いて生体内ネットワークや社会ネットワークの分析を試みてきたが、これも計算機内でのモデル化とシミュレーションにとどまり、地域社会への現実的な寄与は少なかったといえる。

一方、本申請で対象とするものづくり企業の立地戦略に関する問題は、経営学の分野で多く議論されてきたが、そのモデル化や理論展開では曖昧な要素や恣意的な要素を多く含み、本来有効なツールとなるはずのコンピュータを用いたモデル化とシミュレーションはほとんど実践されてこなかったという背景もある。また中小企業の企業間や産学の連携をネットワークとして理解しようとする試みも行われてきたが、やはり計算論的なネットワーク理論を適用している例は少ない。

このような背景のもと、報告者らは、これまで計算論的な手法があまりとられてこなかった経営学の問題に、従前の社会科学的手法に加えて、最適化理論や複雑ネットワークといったシステム工学や情報科学の手法を適用し、より精緻な理論を構築することにより、北海道のような地方・地域を活性化する

新しい生産ネットワーク構造に関する理論の提案を行いたいとの着想に至った。

そこで援用可能な考え方として、現在のグローバルな枠組の中でもものづくりと地域文化の融合を目指した学問領域である生産文化論がある。ここでの文化には気候・土質等の定量的因子のほかに民族性によるメンタリティ・嗜好・感性や歴史的背景および地勢学的視点などの定性的な因子を対象としている。この生産文化論の考え方は、いわゆる国際生産システムのみならず、日本国内における分散的生産構造においても適用できる概念である。伊東はこの考え方をもとに新しい生産構造としての仮想地域集積の概念を提案しているが、その蓋然性や集積構造の構築手法などは現在のところ示されていない。

以上の背景および学術的議論を踏まえ、本研究課題では地域活性化に貢献する分散的生産ネットワーク構造を対象とし、多様な経営資源を連携することで、地理的空間のへだたりや立地の制約条件を超え、付加価値を創出できるような次世代型生産ネットワーク構造を提案すべく研究を開始した。

2. 研究の目的

本研究課題の目的は、ものづくり企業が地方・地域に立地しながらグローバルな生産環境の中で、製品の付加価値創出の意味で地理的距離のへだたりを超越できるような、次世代型生産ネットワーク構造の構築を文理融合型の研究手法により提案することである。その結果から、地方企業が大都市圏に立地するのと同じかそれ以上の強みを発揮できる生産ネットワーク構造を提示し、地域活性化へと導くことを目的とする。すなわち、地理的には遠距離に分散する生産拠点群をネットワークとして結合し、各拠点が有する多様な経営資源を組み合わせ、連携させることで距離空間の隔たりを凌駕するような付加価値を創出可能とする新しい生産ネットワーク構造を設計・検証するための理論を提案し、その構造を導出するシステムを開発する。

具体的には、地域産業活性化の効果を生むために、地域にある企業が地域に密着しながら地理的空間内に分散された生産拠点や連携企業などと生産ネットワーク構造を形成し、その多様な経営資源を連携融合することで高い付加価値を創出する生産構造を、実践的かつ理論的に明らかにしようとするものである。そのための解決されるべき課題は以下の二点とした。

(1) 国内外の先進地域における、分散的産業集積手法の成功例を抽出し、その分析を行う。この課題では本研究で明らかにしたい、「地理的へだたりを付加価値へと転換する次世代型生産ネットワーク構造」をすでに実現している国内外の企業を先進事例として調査し、その構築段階での成功要因を経営資源の視点から分析する。そのようなネットワーク

構造は一時に構築されたとは考えられず、段階的にネットワークが成長したとみなすことができる。したがって成功事例についてもネットワーク成長段階で候補にはなかったが採用されなかった拠点についても調査し、その成否を決める要因や駆動因子について分析・整理する。申請者らはこれまでにグループ化や合併などによりネットワークを構築している代表的な企業の調査・ヒアリングを行い、その結果についてまとめているが、より多くの成功事例について調査・分析する必要がある。

また、この分析結果をもとに、地理的へだたりがあっても付加価値を生む要因と予想される多種多様な経営資源についての詳細なマップを構築する。従来、経営資源とは「ヒト、モノ、カネ」と称され曖昧な形のまま扱われるが、単に「ヒト」といっても従業員数から算出される労働力のような定量的なものから、従業員の技術力やモチベーションといった定性的なものまで考慮されるべきである。この多様な経営資源を生産文化論の考え方を導入し、定性的な資源についても最小要素にまで分解しリストアップし、各経営資源要素間の依存関係や相互作用関係を整理し全体を経営資源ネットワークとしてのマップとして表現する。経営資源マップの作成によって、資源がどこに存在するかが一目で把握できるようになるので、例えば企業の戦略的な意思決定に応用することが期待できる。

(2) 計算論的手法による、地理的へだたりに超え付加価値を生む次世代型生産ネットワーク構造の導出

で調査した先進事例が本当に成功しているのか、そして生産ネットワークとして組入れる候補の中でどれを選択することが適切なのかを計算論的にシミュレーションで導出可能とするような、次世代型生産ネットワーク構造の検証・設計システムを構築する。そのために経営資源マップ上に配置されている経営資源要素を数値化し、最適化理論を適用する。具体的には数値化された経営資源要素を入力とし、適切な分散型生産ネットワーク構造を求める目的関数および制約条件を定義し、さらに地理的空間上でのネットワーク指標を設定する。このようにして構築した理論をシステム化し、自動的に地理的へだたりから付加価値を生む次世代型生産ネットワーク構造を検証・設計可能なシステムを構築する。

3. 研究の方法

本研究課題では研究目的で述べた2つの課題(1)、(2)に取り組むために、文理融合型の研究手法をとる。すなわち「成功事例」を取り上げその要因を定性的に概念整理する社会科学的アプローチと、モデリングとシミュレーション技術を駆使し全体を俯瞰する

モデルに基づいて行動指針を探ろうという計算論的アプローチを組み合わせることで、先に述べたそれぞれのアプローチの限界を補完しあう効果が期待される。以下にこの2つの課題にどのように取り組んでいくかを記述する。

(1) 国内外の先進地域における、分散的産業集積手法の成功例抽出とその分析

この課題を第一のフェーズとして分散型産業集積の先進例を類型化する。ここでいう分散型産業集積とは、自然発生的に形成される地場産業型集積や大企業とその下請け企業群から構成される企業城下町型集積などは異なり、輸送費等のコストが発生するにも関わらず分散した地域に生産拠点を展開する集積構造で伊東が提起した仮想地域集積と同様のものである。そこで、以下の具体的な方法で研究を実施する。

先進的な事例といえる国内外の企業を調査

分散型の産業集積を行った目的を分類・整理

生産拠点立地選択の要因、および実際には選択されなかった候補地域をリストアップ

生産文化論や付加価値創出の意味で、立地が目的に合致したものであったかどうかを検証

以上の研究結果から先進例を本研究が目指す「地理的隔たりが付加価値を生む次世代型生産ネットワーク構造」を示している事例と、そうではない事例に分類する。

(2) 計算論的手法による、地理的隔たりを越え付加価値を生む次世代型生産ネットワーク構造の導出

本課題の目的は現実的な生産ネットワーク構造の好ましさをシミュレーションで導出可能な検証・設計システムを構築することである。具体的には以下の方法で研究を実行する。

最適化理論を適用し、経営資源の多様性から創出される付加価値を漸次的に最大化するネットワーク構造の成長過程を導出するプロトタイプシステムを構築する。

仮想的な生産拠点データを用いて、シミュレーション実験を行い、最適な生産ネットワーク構造が導出可能であることを検証する。このシステムでは、現状の生産ネットワーク構造と結合候補となる拠点立地群の地理的情報とその拠点が有する経営資源情報を入力することで、最も好ましい結合後のネットワーク構造を設計可能となる。

シミュレーション用仮想データでは、システムにとって扱いやすい記述で経営資源データを与えていたが、実際のデータが同様の形式で得られる保証はないため、どのような実データに対しても適用可能とする。

本研究は研究目的欄で記述した通り、文理融合型の研究手法により実施される。その理由は研究対象である「次世代型生産ネットワーク構造」が社会科学的フィールドワークのみでも、コンピュータシミュレーションによる計算論的アプローチのみでも明らかにすることが出来ないと考えるためである。そこで、経営工学、情報科学を専門とする研究代表者(川上)と経営学、組織論を専門とする分担者(湯川)が研究組織を形成し、それぞれの専門を活かしながら学際的研究を行うことにより、社会にとってより有益な研究成果を得られると考える。

4. 研究成果

本研究課題の成果として以下の結果を得た。

(1)従来の地域集積から仮想地域集積へのパラダイムシフトについて論じ、その蓋然性を示した。

すなわち、地域集積は多くのメリットを生む地理空間的な現象として知られている。地理空間的距離がもたらす弊害を集積により解消し、地域産業の活性化を図るものである。しかしながら地域集積は近接エリア内に同種の企業等が集まっているため、同質化や独占化などのデメリットも同時に有する。このため、より付加価値を創出できる新しい集積概念が模索されている。一方、生産文化論が論じる「文化の違いを考慮した生産システム」の構築概念として仮想地域集積が提案されている。仮想地域集積とは、伊東によって提唱された概念であり、距離と時間の制約条件を克服して、一群の緊密にグループ化されたメーカーがあるシステム規模(地方規模・一国内規模・大陸規模・世界規模など)で生産活動を展開することと定義されている。仮想地域集積は、地理的距離のへだたりが高付加価値を産出するような生産ネットワーク構造であり定量的に評価できる経営資源のみではなく定性的な経営資源も含めネットワーク化することにより、単なる立地戦略とは付加価値の創出の如何によって区別される。本報告では仮想的な付加価値創出空間を想定し、この空間内で緊密に集積することにより付加価値がうまれるものと考えられる。

(2)仮想地域集積に向けたいくつかの事例を調査分析し、ケーススタディとしてまとめた。

すなわち、遠隔地域の文化や風土に立脚したものづくりを行う企業との連携の場合、一見すると同じ製品を製作していたとしても近接地域の企業との連携からは得られないメリット、すなわち付加価値が発生すると考えられる。この場合、当該地域の生産文化を背景としているので、隔たりがあるほど付加価値が大きくなる。つまり、付加価値の大きさが距離のデメリットを凌駕することにつ

ながる。このような仮想的な地域連携の明確な実現例はいまだ存在しないが、部分的にはその萌芽とみなすことができるケースを以下に示す。

工作機械メーカーの森精機では、欧州と米国に主要生産拠点を置き、広域ネットワークを形成している。2007年にはスイスのDIXI machines社を買収し、ヨーロッパ向け生産拠点を確保した。高精度ものづくりを得意とするDIXI社の特徴と森精機流の合理的なものづくりを統合させるためにOEM生産を実施している。しかしながら森精機の部品をスイスに送るのは膨大なコストがかかり、距離の隔たりから生じるデメリットとなっていた。これを解消したのが、2009年のドイツ・ギルデマイスター社との資本提携である。その結果、製品ラインアップや保有技術の拡充、調達や購買における共同化、顧客基盤の強化など、メリットが多く発生した。加えて、これまでDIXI社に高コストで日本からスイスへ輸送していた部品を、ドイツのギルデマイスター社から供給することも可能となった。一方、米国カリフォルニアには、自社の開発拠点であるデジタルテクノロジーラボラトリー(DTL)を展開、日本との時差を利用して、日本の設計チームが作成した設計データを日本の夜間に当たる時間帯に米国で解析し、その結果を日本にフィードバックしている。これによって開発期間の大幅な短縮につなげている。カリフォルニアに拠点を置いたのは、シリコンバレーにも近く、ソフトウェア開発において優秀な人材が確保しやすい、使用するソフトウェアのほとんどが米国製であるという二つの要因が大きく仮想的な連携に作用していると考えられる。

森精機の事例は、拠点を遠隔地に確保することで、距離的、時間的に製品の付加価値を高めている好例といえる。森精機の事例によって、空間の隔たりがデメリットではなく、経営資源の強みをより明確に打ちだしつつ、その地域の特性を活かして付加価値を創出するネットワークになりえる可能性が示唆されたと考えられる。つまり仮想的な連携が、付加価値出型のネットワークを導いている理論的可能性を裏付けているといえる。

(3)仮想地域集積の生産ネットワーク構造モデルの構築を行った。

本研究課題では、付加価値創出の意味で適切な仮想地域集積構造を計算論的に求めることを目的としている。ここで対象とする仮想地域集積構造とは、ある企業やグループが有する工場等の拠点をノードとし、物流や情報の流れをリンクとして表現したネットワーク構造を意味し、 cs (**CS**)で表すこととする。ここで、**CS**は可能な集積構造の集合である。またこの集積構造は従来の地域集積と同様に時を経ながら次第に成長・拡大してゆくものを想定し、ネットワーク構造の成長過程としてモデル化する。すなわち現時点での

構造 cs_t にノードあるいはサブネットワークが結合し、 cs_{t+1} へと成長する。この場合に現状のネットワークから一部リンクが消滅するなどの縮退過程も含むものとする。

この問題を最適化問題として考えた場合、仮想地域集積構造の望ましさの度合を示す目的関数 f_{vc} を同定することが課題となる。つまり目的関数 f_{vc} を最大化するような最適集積構造を cs^* (CS) とすると、 cs^* は次式で表すことができる。

$$cs^* = \arg \max_{cs} f_{vc}(cs) \quad (1)$$

また前述のように、仮想地域集積の現象をネットワーク構造の成長として捉え、解析的に最適構造を求めるよりも、山登り法のような1ステップごとの漸次的な成長過程を決定する方がより現実に即している。つまり式(1)をつぎのように修正する。

$$cs_{t+1}^* = \arg \max_{cs_{t+1}} [f_{vc}(cs_{t+1}) - f_{vc}(cs_t)] \quad (2)$$

ここで cs_{t+1}^* (CS_{t+1}) は、現時点での集積構造 cs_t から1ステップで更新可能な構造で、現時点の目的関数値との差が最大となる値を示す構造を次ステップでの最適集積構造 cs_{t+1}^* (CS_{t+1}) とする。

f_{vc} の具体的な構造はいくつか想定することができるが、ケーススタディや生産文化論の見地から見ると、経営資源の多様さが付加価値を創出する駆動要因となっているように考えられる。すなわち、ある時点の生産ネットワーク構造では有していない経営資源要素を補完できるようなノードあるいはサブネットワークを結合し、ネットワーク構造を成長させることにより付加価値が創出されると仮定した。

本研究ではこの仮定に基づき単純化したモデルを提示する。すなわち、ある集積構造の特徴量として経営資源ベクトル MR を定義し、多様な経営資源を有しているほど高い付加価値を創出できるものとする。ここには原材料や個々の生産機械、資金、労働力の量などの定量的な資源から、労働者の技術力やモチベーション、文化、風土、地域的嗜好などの定性的な項目までを要素とする。結合可能なサブネットワークも同じ要素からなる経営資源ベクトルを持つため、両者の和として成長後のネットワーク構造を評価することができる。ここで各要素を 0.1 の二値で表現したとすると、現時点での経営資源ベクトルともっともハミング距離が大きい経営資源ベクトルを持つことになるサブネットワークを選択し、結合することにより最適化を行う。

上記のプロセスをネットワーク成長過程の1ステップとすし、初期構造の生産ネットワークから逐次的に創出可能な付加価値を増加させるネットワーク構造を構築していくモデルとする。

(4)構築したモデルを実装したシステムを用いてコンピュータシミュレーションを実行し、結果を検証した。

本研究では、付加価値創出の意味で、生産拠点群の適切なネットワーク構造を計算論的に求めることを目的としているため、上記の方法論に基づき提案手法の有効性を検証する。そのために付加価値を増大させる生産ネットワーク構造を導出可能とする、ネットワーク構造設計・検証システムを試作した。このシステムに対して、仮想の拠点データを用いて、コンピュータシミュレーションを行い、ネットワーク構造の導出過程を検証した。

本シミュレーションでは、あらかじめ与えられている拠点候補群に対して、初期ネットワーク構造から創出出来る付加価値が大きくなるように逐次的にネットワーク構造を拡張していくモデルを検証した。具体的には拠点群データを次のように設定した。

生産ネットワーク構造のノードとなりえる生産拠点候補を 88 ノード設定。

各ノードには、地理的空間上の座標情報と有している経営資源情報をランダムに設定。

各拠点が有する経営資源ベクトルは全体で 100 ビット長とし、各ビットに 0, 1 のいずれかがセットされ、1 がたっているビットに相当する資源を有しているものとする。

各拠点において、経営資源ベクトルには最少 2 ビット、最多 15 ビットをランダムな位置にセットする。

このように設定されたシミュレーション用拠点群データに対して、初期ネットワーク構造に、まだネットワークに結合されていない拠点群の中から、最良な 1 拠点を追加することでネットワークを成長させる。ある時点におけるネットワーク全体の経営資源ベクトル MR はネットワークに含まれる各拠点の経営資源ベクトルを論理和したものとし、このベクトルのノルムからネットワーク中のリンクの距離に応じた値を減じたものをネットワーク構造の評価値となることとした。したがって、ネットワークにまだ結合されていない拠点ノードすべてに対して、結合後の評価値を計算し、最も高い評価値をもたらす拠点を選ぶこととなる。

実施したコンピュータシミュレーションの結果から初期構造からスタートして漸次的に拠点を結合し、ネットワークが拡張されていることが確認できた。また、各拠点は有している経営資源ベクトルが異なるため、選択・結合される拠点は必ずしも地理的に近い位置にある拠点とは限らないこともシミュレーション結果から確かめられている。

シミュレーション中でネットワークの成長過程における、生産ネットワーク構造が創出可能な付加価値の変化を図 1 に示す。図中、横軸はネットワーク構造の成長ステップ数で、縦軸がその時点での生産ネットワーク構

造が創出可能な付加価値である。図には 20 回実施したシミュレーションの平均値，最小値，最大値および標準偏差をプロットしている。各シミュレーションでは初期構造は同一のものに固定している。各拠点の持つ経営資源ベクトルはある範囲内でランダムに設定しているため値の大小はあるが，いずれのシミュレーションでも創出する付加価値が最大になるような拠点を順次結合するため同様の結果が得られている。成長過程の初期段階では，初期状態では有していない経営資源を補完する結合拠点候補が存在するため，創出可能な付加価値は上昇するが，ある程度の段階に達すると付加価値の上昇は鈍化し，いずれリンク距離によるマイナス要素が大きく影響し，全体の付加価値が下降するようになることも確かめられた。この結果は実験のパラメータを様々に変化させて行ったシミュレーションでも同様に検証されている。この結果から，ネットワークは拡大し続けることが決して良いことではなく，付加価値創出の意味でネットワークにとっての適切なサイズが存在することも表現している。このような結果が計算論的に導出されることは重要であると考えられる。

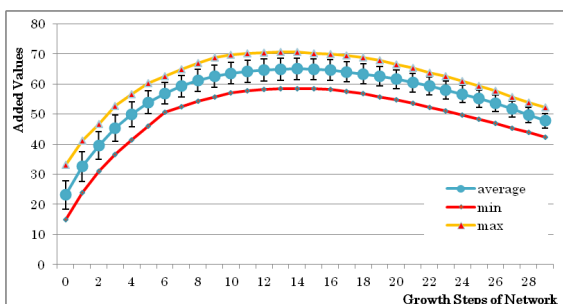


図1 ネットワーク構造の成長過程における付加価値の変化

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 5件)

川上敬，湯川恵子，丹羽孔明：付加価値創出のための次世代型生産ネットワーク構造のモデル化，生産管理学会論文誌，査読無，Vol.20, No.1，pp.91-96，2013/10/31。

Keiko Yukawa，Takashi Kawakami：A Manufacturing Network Simulation for Overcoming Geographical Distance Making the Best Use of Regional Management Resources，proceedings of 1st International Conference of Production Management 2013，査読有，DVD-ROM，Sep. 9-12，2013.

湯川恵子，割澤伸一：工作機械産業における熟練技能者の作業プロセス可視化に関する研究，国際経営フォーラム，査読有，

No.24，pp.135-148 神奈川大学国際経営研究所，2013.11.30。

湯川恵子，川上敬：地域性を活かした生産ネットワーク構造の構築可能性 付加価値創出を意識して - ，マネジメント・ジャーナル，査読有，Vol.5，神奈川大学国際経営研究所，pp. 43-52，2013/3/31.

Keiko YUKAWA，Takashi KAWAKAMI：A Manufacturing Network for Generating Added Value from a Geographical Distance for the Next Generation，Journal of Machine Engineering，査読有，Vol.11, No.3，2011，pp.44-57，2011/12.

〔学会発表〕(計 2件)

川上敬，湯川恵子，丹羽孔明：付加価値創出のための次世代型生産ネットワーク構造に関する研究，日本生産管理学会第37回全国大会講演論文集，椋山女子大学，pp.130-131，2013/3/22-24.

湯川恵子，川上敬：組織構造設計のための人間関係ネットワーク類推手法の提案，日本経営学会北海道部会，北海学園大学，2011年7月16日。

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川上 敬 (KAWAKAMI, Takashi)
北海道科学大学・工学部・教授
研究者番号：10234022

(2) 研究分担者

湯川 恵子 (YUKAWA, Keiko)
神奈川大学・経営学部・准教授
研究者番号：20420763