

平成 23 年 5 月 20 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20580263

研究課題名（和文） 集水域からの総流出負荷量の区間推定法の確立に関する研究

研究課題名（英文） Study on Interval Estimation Method for Effluent Loads from a Catchment

研究代表者

多田 明夫 (TADA AKIO)

神戸大学・農学研究科・准教授

研究者番号：00263400

研究成果の概要（和文）：

山林や農地などの面源からの溶存物質と懸濁物質の流出負荷量の適切な区間推定法について検討した。信頼区間の構成方法はブートストラップ法を採用した。この結果、溶存物質については等間隔（定期）サンプリングと USGS Load Estimator の 7 パラメータモデルにバイアス修正法である Composite 法を組み合わせた方法が最良であった。懸濁物質では確率的サンプリング法である SALT 法にべき乗型の負荷量と流量の単回帰式による推定法が最良であった。しかしながら、溶存態項目については区間推定法の皿なら改良が必要である。

研究成果の概要（英文）：

This study is aimed at seeking the adequate interval estimate method of effluent loading from diffuse source, such as forested or agricultural catchment. A configuration of confidence interval was based on the bootstrap method. As a results, the best performance was attained with the interval estimation method that combined periodical sampling with 7 parameters model of USGS Load Estimator applying bias correction by composite method for dissolved ions. In contrast, the best performance was achieved with the interval estimation method that combined probabilistic SALT sampling with power type loading - discharge rate regression model applying no bias correction for suspended solids. However the interval estimation method for dissolved ions still has rooms for improvement.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業土木・農村計画学

キーワード：面源負荷量，区間推定，ブートストラップ，サンプリング戦略，USGS Load Estimator，バイアス修正，SALT 法，Tobit モデル

1. 研究開始当初の背景

(1) 流域からの流出負荷量の推定の確からしさに関する課題

山林や農地などの集水域から流出する物質負荷量の推定精度に関する研究、あるいは流出負荷量の推定精度を確保するようなサンプリング方法に関する研究は、1970年代後半にWebbらが行った、rating curveを利用した浮遊土砂の総流出量推定値が常に過小評価となっているという警告から始まった。その後、集水域からの物質流出量の期間中の総計値、すなわち総流出負荷量の不偏推定量を得るためには、どのような観測（サンプリング）計画を採用し、どのような算出方法を選択すべきかについて、主にアメリカを中心に研究されてきた。現在のところ、集水域からの総流出負荷量の偏りの少ない推定方法は確立されておらず、精度の高い推定値を得るためには、水質と流量の高頻度モニタリングを実施する以外にない。しかしながらこのような結論は、行政などの水環境を管理する立場から見れば、労力的にもコスト的にも受け入れられない方策であろう。

(2) 水質モニタリングの高頻度化と必ずしも結びつかない流出負荷量の推定精度

1970年代後半以降、環境モニタリング、特に水質モニタリングについては、自動採水機を利用したサンプリングが広範に行われるようになってきている。このサンプリング方法を採用して精度の高い総流出負荷量を求めようとしても、具体的な方法論は未だ提案されておらず、折角の高頻度サンプリング機器が総流出負荷量の推定精度向上に生かされていない。そればかりでなく、観測者毎に集水域からの総流出負荷量の推定法や算出根拠が異なるという弊害も生じている。

(3) 水環境（水質）管理における流出負荷量の区間推定の有効性

現在、水環境の健全性を回復・保全するために、統合的な流域管理が先進国で行われている。その代表的なものはEUの窒素令や米国のTMDLsである。これらの水質管理では農地も規制の対象に含めており、施肥などを中心とした農地への物質投入を、その排出量が下流の水利用に対して悪影響を与えない範囲に収まるよう、規制・削減させるものである。この場合には、結局、農地からの総流出量や、集水域全体からの総流出量が規制や対策の基礎的数値となるために、現況のように精度・確度が明らかでない負荷量の推定値を規制計画にそのまま採用することは、施策の効果を低下させるなど、さらなる冗長コストを誘発することになる。これら水管理上の点

からも、また環境における物質のフローを把握し健全な物質循環系を構築する視点からも、偏りのない（不偏な）総流出負荷量を得るためのサンプリング方法（サンプリング戦略）と負荷流出の算出方法が求められている。また、窒素令やTMDLsの対策として行われるであろう農地への施肥削減量の決定や、農法改善による排出負荷量の実際の削減効果の評価には推定流出負荷量推定値の区間推定が必須である。流出負荷量の区間推定に基づいて、ある有意水準（危険率）のもとで、例えば施肥の削減効果が棄却・受入されるようなものでなくてはならない。こういった評価を統一的に行うだけのデータの蓄積や検討が、未だ十分でないというのが、集水域からの総流出負荷量推定方法に関する研究を巡る現状である。

2. 研究の目的

研究代表者は本研究に着手するまでに、山林流域からの溶存イオンに関して、高頻度連続モニタリングデータに基づいて、従来提案されかつ国内で利用されてきた流出負荷量の推定法による流出負荷量推定の確からしさについて、種々の検討を加えてきた。それらの知見によれば、以下のような解明すべき問題点が整理できたように思われる。

まず、総流出負荷量の算定法はいろいろ存在するが、真値に相当する負荷量の値に対して、系統的に一貫して過大あるいは過小な値を計算結果として与えることが多い。すなわちほとんどの場合、負荷量の推定値に偏りが存在するのであるが、それは負荷量の算出に利用するデータの構造と、算出に関する考え方に起因している。従って、この偏りが何故発生するのかについてまず数学的に検討する必要がある。

このために、具体的には、負荷量算出に供する標本となる水質と流量のデータ構造について検討し、それを考慮した上で、bootstrap法などのリサンプリング法を応用して、偏りの少ない総流出負荷量の推定法および区間推定法を提案することを目的としている。従って、最終的な目標とする研究成果は、以下の事項である。

(1) これまで提案されてきた国内外の面源流出負荷量推定法の総合的評価

(2) 適切なサンプリング戦略と負荷量計算方式を組み合わせ、面源からの総流出負荷量の不偏な推定法の提案

(3) 上の計算方法を採用した、面源からの流出負荷量の区間推定数値計算プログラムの開発と配布

3. 研究の方法

本研究計画には2つの柱がある。一つは現地モニタリングデータの取得であり、もう一つはモニタリングデータを元にした、総流出負荷量推定の確からしさの解析（シミュレーション）である。

(1)水質モニタリング

実際のデータは、2009～2010年度の期間において、奈良県の小山林流域（12.82ha）にて実施した。調査流域の土地利用は自然植生の山林（雑木林）と檜の植林地帯からなり、施肥などの物質投入はこれまで行われていない。また流域内に存在した谷津田も1990年以降耕作放棄され、植林地帯以外に時的な影響は存在していない。この流域では1980年から継続して水文観測が行われているだけでなく、これまでに種々の流出解析が実施され、かつ土壌物理データなども蓄積されており、また過去の水質観測データも存在しているところである。

研究対象とする評価項目は、ナトリウム、カリウム、塩化物の3種の溶存イオン濃度と、後方散乱式濁度計による濁度から換算した懸濁物質濃度である。これらの濃度データは10～15分間隔で高頻度モニタリングされた値であり、流量とともに正時10分間隔の観測値に整理されて、解析に供される。濁度と懸濁物質濃度の降雨出水時の観測データに基づく回帰式を用いて、濁度の観測値から懸濁物質濃度を推定することについては、精度・偏りの観点から問題の多い方法であるとの指摘があるものの、こうして得られる懸濁物質濃度は、溶存項目と比較して、より流量依存性とヒステリシスの強い水質時系列である。このような傾向は、本当の懸濁物質濃度の水質時系列が溶存項目に対して有する特徴と一致していると考えられる。このため、本研究では濁度を観測し、これをもとに推定した懸濁物質相当の仮想物質濃度を対象項目に加え、流量と濃度の同時確率分布評価の礎とすることとしている。

なお本研究では、溶存項目の3項目は研究代表者の開発したFIP（Flow Injection Potentiometry）連続モニタリングシステムを利用して観測したが、大幅な定精度の改善を果たすべく、2008年度に濃度定量プログラムの大幅な改良を実施した。

(2)負荷推定精度の数値解析

①流出負荷量推定の計算ステップ

流出負荷量の推定は、母集団から標本集団を抽出し、得られた標本集団に基づいて流出負荷量を算出するという2つのステップを経て行われる。母集団から如何にして母集団の特徴を有する標本集団を効率よく抽出するかという方法論はサンプリング戦略と呼ばれる。一方、抽出された標本集団に基づいて、

どのような計算手法を採用して流出負荷量の値を計算するかという方法論を負荷量算出法と呼ぶこととする。流出負荷量の区間推定を実施する場合には、更にそのための計算手法が必要である。本研究では水質・流量データの分布特性に正規分布などの前提を設けないこととした。このため区間推定には、モンテカルロ的なりサンプリング手法であるブートストラップ法を採用することとした。なお本研究では、区間推定のためのブートストラップ反復回数は2,000回、信頼区間は95%の信頼確率に対するものを算出している。また全データを利用した積算計算によって得られる負荷量の値を真値として比較の基準とする。流出負荷量の推定ならびに区間推定法の良否は、95%信頼確率のブートストラップ信頼区間内にこの真値が含まれる確率（カバー率）により評価した。すなわち、95%信頼区間に対してほぼ95%に近いカバー率を示すような区間推定法が、もっとも不偏な流出負荷量の（区間）推定法であると判断している。

②サンプリング戦略についての検討

どのようなサンプリング戦略を実施すれば、より不偏な推定量を効率よく得られることになるか実際のデータに基づいて検討する。基本的には等間隔（定期）サンプリング、母集団と類似の流量データ分布を維持するよう標本を抽出する流量層別サンプリング、およびランダムサンプリングについて検討した。一方懸濁物質については、観測データ中に濃度が0となる（検出下限以下である）、いわゆる打ち切りデータが多く存在していた。このため、前者の3種以外のサンプリング戦略の検討が必要であった。実際に、負荷量の期待値の大きさを考慮したSALTサンプリング法（Thomas, 1985）について検討した。

③溶存物質の流出負荷量算出法についての検討

これまで提案されてきた負荷量の算定方式の代表的なものとして、以下の算出方法について検討を行った。すなわち、標本負荷量の単純平均法及び加重平均法、偏りが少ないといわれているBeale比推定法（Beale, 1962,あるいはBaun, 1982）、重回帰式をRating Curve法（回帰曲線法）として採用した推定法の代表的手法としてのUSGS（米国地質調査所）のLoad Estimatorモデル（Cohnら, 1992）、流量と負荷量との線形単回帰式をRating Curveに採用した負荷計算法について検討を加えた。Load Estimatorモデルでは、説明変数の組み合わせにより9形式の重回帰モデルが提案されており、かつそれらのうち赤池の情報量基準（AIC）などに基づく変数選択法を採用した形式の計10形式について検討を加えている。

USGS Load Estimator の 7 パラメータモデル (Model 9) は次式である.

$$\ln \hat{l}_i = \beta_0 + \beta_1 \ln \frac{q_i}{q} + \beta_2 \left(\ln \frac{q_i}{q} \right)^2 + \beta_3 (T - \bar{T}) + \beta_4 (T - \bar{T})^2 + \beta_5 \sin(2\pi T) + \beta_6 \cos(2\pi T) + \varepsilon_i$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \ln \tilde{q} = \overline{\ln q} + \frac{\sum_{i=1}^n (\ln q_i - \overline{\ln q})^3}{2 \sum_{i=1}^n (\ln q_i - \overline{\ln q})^2} \\ \bar{T} = \bar{T} + \frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^3}{2 \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2} \end{array} \right.$$

ここで、 l_i は瞬間負荷量、 q_i は瞬間流量、 T_i は 1 年の長さを 1 とする時間、 $\beta_0 \sim \beta_6$ は偏回帰係数である.

なお、流出負荷量の Rating Curve 法で、目的変数が負荷量の対数值となっているものについては、通常最小自乗法により得られる偏回帰係数に従い流出負荷量を算出すると、もし流出負荷量の予測残差が対数正規分布に従う場合には、流出負荷量の値を過小評価することがわかっている。この偏りを修正する方法 (バイアス修正法) には様々なものがあるが、本研究では以下のものについて検討した。すなわち、予測値と観測値の差を直接的に解消しようとする smearing 修正法 (Duan, 1983)、対数正規分布の特性から数学的に導かれる BCF (Bias Correction Factor, バイアス修正係数) である QMLE 法 (Ferguson, 1986)、理論的に不偏かつ分散を最小にするといわれている MVUE 法 (Minimum Variance Unbiased Estimator, Cohn ら, 1989)、平均自乗誤差を最小とする不偏推定量を与える MM 法ならびにバイアスを最小とする不偏推定量を与える MB 法 (Shen and Zhu, 2007)、回帰の予測残差を時間的に線形補完して、元の予測値にフィードバックする Composite 法 (Huntington, 1994) について検討を行った。

なおこのようなバイアス修正は、目的変数が対数值でなければ考慮する必要がない。従って、Load Estimator の回帰係数を平均残差平方和 (MSE, Mean Square Error) あるいは絶対誤差を最小とする (LAD, Least Absolute Deviation) 非線形最適化により決定する方法についても検討した。

③懸濁物質の流出負荷量算出法についての検討

濁度や懸濁物質の値は、渓流水では低水時に検出下限以下の 0 となる。従って、統計学でいうところの Type I の打ち切りデータに該当する。調査流域では観測データの 96% が打ち切りデータとなった。このようなデータ

を対象とする場合、0 より大きな値のデータだけを用いて Rating Curve を決定すると偏りを生じることになる。このため通常 Tobit 回帰が利用される。懸濁物質の負荷量計算では、Tobit 回帰を用いてべき乗型の LQ 式を決定し、それを Rating Curve とする負荷量算出方法について検討した。これ以外に Thomas (1985) の提案する比推定法に基づく負荷量算出法、べき乗型 LQ 式に Smearing 法と QMLE 法などのバイアス修正法を組み合わせた方法についても検討した。

4. 研究成果

(1) 水質モニタリングについて

調査流域において FIP 連続モニタリングシステムにより観測されたイオン選択電極の電位データから水質濃度を計算するプログラムのアルゴリズムを根本的に見直し、ISE 近傍の温度観測値を ISE の電位変動の推定に利用し、これと電位と濃度の定量的な関係を示す Nernst 式と組み合わせることで、濃度の推定精度を向上させることができた。現地での標準液と河川試料の観測・分析パターンも見直しを加えることで、2004 年度に採用されていた定量方法と比較して、格段に濃度の推定精度を向上させることができた。この結果、2004 年度に観測濃度データに見られたような、温度変動に起因する見かけの濃度変動を極力抑えることができた。この結果、当研究期間に得られた観測値に基づく流出負荷量の区間推定の議論に、精密さの観点から大きく寄与することとなった。

(2) 流出負荷量の推定精度の数値解析について

① 溶存項目のサンプリング戦略について

流出負荷量の算定方法にかかわらず、ランダムサンプリングおよび流量層別サンプリングは、等間隔 (定期) サンプリングよりもカバー率が大変小さくなる結果となった。これは、ランダムサンプリングや流量層別サンプリングでは、母集団のデータ分布特性に対し何らかの偏りを生じさせていることを意味している。現時点で言えることは、通常の水質モニタリングでも多く採用実績のある定期的なサンプリングが、もっとも偏りの少ない流出負荷量の推定値を与えうるということである。

② 溶存物質の流出負荷量算定方法について

等間隔サンプリングの間隔にかかわらず、つまり標本集団の大きさにかかわらず、一貫して高いカバー率を示したのは USGS Load Estimator の Model 2/5/8/9 にバイアス修正法として Composite 法を組み合わせた場合であった。それ以外の方法では期待される 95% の信頼確率に対して、はるかに低いカバー率を示した。USGS Load Estimator の Model 2/5/8/9 に共通する点は、説明変数に流量の 2 次の項

が含まれていることである。当然説明変数の数が最多の7である Model 9 の信頼区間の幅が最も広いので、カバー率も最大となった。

変数選択法を採用した USGS Load Estimator のカバー率は、Model 8/9 に Composite 法を組み合わせた場合よりもずっと低いものとなった。これは、標本集団が小さくなるにつれ、変数選択法に採用した情報量基準 (F 値、AIC、マロウズの Cp) に関わらず、より多くの説明変数がモデルから落とされたためである。全データを投入した変数選択法の適用結果では、Model 8 ないしは Model 9 が最良モデルであった。すなわち、標本集団の情報量に基づいて変数選択法を導入するよりは、母集団に対し最も適合度の高いモデルが不明である以上、より多くの説明変数を含むモデルを元に区間推定を行った方が適切な区間推定を行うことができると結論できる。

MSE を直接非線形最適化手法により最小にするように Load Estimator の回帰係数を決定する、あるいは LAD 法を適用して同様にモデルパラメータを決定し、これにより区間推定を行った。しかしながらこれらの方法を採用しても、カバー率は同程度かむしろ低下しており、計算労力には見合わない結果となった。このため、Load Estimator の回帰係数は通常の最小自乗法により決定し、バイアス修正を行う方が現実的であるといえる。また信頼区間の構成方法として、ブートストラップ法ではなく、モデルの残差分布に対数正規分布を想定した古典的な信頼区間の更正版も検討したが、やはりカバー率はブートストラップ法の場合よりも低下した。これは残差分布が対数正規分布では十分によく近似できていないことを意味している。

以上の知見より、現時点では、USGS Load Estimator の Model 9 (7 パラメーターモデル) に Composite 法を組み合わせた方法が最も良い区間推定結果を与えることがわかった。しかしながらこの場合でも、ナトリウムについてはカバー率が 80% 程度まで低下する場合が見られた。それ以外の項目では概ね信頼確率に見合うカバー率 (90~100%) が得られているものの、この方法でも十分な区間推定法とはいえない状況である。

③懸濁物質のサンプリング戦略について

懸濁物質濃度については、期間中の全観測データのうち、0 でない観測値は 3.4% にすぎず、残りの 96.6% は全て検出下限以下の値であった。このため通常の等間隔サンプリングでは、サンプリング間隔を非常に短くしない限り、流出負荷量推定に十分な数のデータを得ることができないことになる。これは本来の研究目的からは望ましくない状況である。このため、より効率的なサンプリング方法である SALT 法を採用することとした。

④懸濁物質の流出負荷量算定方法について

流出負荷量の算出方法として、Thomas (1985) の方法、べき乗型 LQ 式に Tobit モデルを適用した Rating Curve により負荷量を算出する方法、べき乗型 LQ 式を 0 でない観測値に基づいて決定し、これを Rating Curve として負荷量を算出する方法について検討した。べき乗型 LQ 式は対数変換した負荷量と同じく対数変換した流量の単回帰モデルである。べき乗型 LQ 式の Rating Curve としての採用の際には、バイアス修正法を導入しない方法と smearing 法・QMLE 法の 2 種類のバイアス修正を適用する方法もあわせて検討している。

この結果、SALT 法により抽出される標本集団に大きさに関わらず、終始一貫して 95% の信頼確率に見合うカバー率を示したのは、バイアス修正法を用いないべき乗型 LQ 式によるものであった (カバー率は 93~94%)。べき乗型 LQ 式を利用したそのほかの方法では、全て標本集団の大きさが大きくなるほどカバー率も大きく低下する結果となり、特に Tobit モデルを適用した場合にカバー率の低下がより大きかった。Thomas の方法は標本集団のデータ数が多いほど高くなったが、それでもカバー率が 82~93% と標本集団の大きさによって大きく変動した。これは溶存態項目とは全く異なる傾向であり、おそらく多量の打ち切りデータのためであると考えられた。

以上より、懸濁物質の流出負荷量の区間推定には、SALT 法と通常のべき乗型 LQ 式による方法が、当調査流域においては、現時点で最良の方法であった。

(3) 研究成果の国内外での位置づけと今後の展望

本研究では、最低でもこれまで国内外で利用されてきた流出負荷量の推定法とその問題点を、実測の高頻度水質・流量モニタリングデータを元に整理することで、各方法の持つ特性を包括的に整理・評価することができたと考えている。従来こういった研究は、大川ではなく小流域 (数十 ha~1km² 以内) の流域でのモニタリングデータに基づいて行われてきた。しかしながら、その場合でも 1 時間もしくは 1 日、あるいは数日に一度といった水質モニタリングデータを元に議論が進められていることが多く、最も高頻度のデータを利用した総流出負荷量の計算値そのものが偏りを有している可能性を払拭できないものであった。しかしながら研究代表者がこれまでに開発したモニタリング装置による濃度観測値と濁度のモニタリングデータを元に、懸濁物質までを想定に入れて流出負荷量の推定精度についての検討を行うことが可能となった。

本研究では十分に流出負荷量の区間推定法を確率がなされたと言えない部分も残さ

れたが、それでも従来よりもより偏りの小さな区間推定法としてどのような手法が望ましいかを、溶存項目及び懸濁物質毎に、示すことはできたと考えている。この結果、(A)これまでに得られたデータを再度計算し直すことで、観測値の区間推定が可能になることが期待される。集水域からの総流出負荷量の調査研究はこれまで数多く為されてきているが、手元に残されているデータで再整理と相互比較が可能になることが期待される。(B)環境評価のため、水質変動を評価する数値計算モデルが多く提案されている。それらのモデルでは、計算結果の不確実性や多目的最適化における評価関数(最適化の上で最小化したい残差関数など)の設定・評価方法が課題となるが、総流出負荷量の信頼区間を設定することで、より現実的な多目的計画法による最適化が可能になると期待される。

また、農地の多面的機能の一つとして水質浄化が挙げられているが、本研究成果を応用することで、浄化能力自体の有無やその大きさが、区間推定値として得られるようになる。逆に、区間推定でなく点推定でのみこういった負荷削減効果を語ることは、現況の流量・水質観測の精度から考えて、誤った結論を与えかねない。このため本研究の成果は、根源的な課題を提起していると考えられよう。

今後に積み残した課題としては、溶存態と懸濁物質の両者に共通した、包括的な流出負荷量の区間推定法の確立、ならびにさらなるカバー率の向上がある。これらの実現のためには、溶存態項目についても SALT 法のような確率的サンプリング法を利用すること、ならびに USGS Load Estimator の重回帰式よりもより自由度の高い回帰式を Rating Curve として採用することなどが考えられよう。

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)

[学会発表] (計 7 件)

①多田明夫・田中丸治哉，確率的サンプリングを利用した打ち切りデータに基づく懸濁物質負荷量の区間推定，平成 23 年度農業農村工学会大会講演会，平成 23 年 9 月 7 日(発表確定)，九州大学 箱崎 キャンパス 文系共用講義棟

②栗原周平・多田明夫・田中丸治哉，山林流域からの流出負荷量の区間推定について，平成 23 年度農業農村工学会大会講演会，平成 23 年 9 月(発表確定)，九州大学 箱崎 キャンパス 文系共用講義棟

③今井一貴，多田明夫，田中丸治哉：山林流域からの懸濁物質流出負荷量の推定法に関する考察，農業農村工学会京都支部第 66 回研究発表会，平成 21 年 11 月 5 日，富山県民

会館

④西井遼，多田明夫，田中丸治哉：イオン電極を用いた水質オンサイトモニタリングシステムの定量性の向上に関して，農業農村工学会京都支部第 66 回研究発表会，平成 21 年 11 月 5 日，富山県民会館

⑤多田明夫，田中丸治哉：山林小流域からの溶存物質総流出負荷量の区間推定法について，平成 21 年度農業農村工学会大会講演会，平成 21 年 8 月 5 日，筑波大学筑波キャンパス

⑥Tada, A. and Tanakamaru, H.: Evaluation of Load Estimation Methods and Sampling Strategies by Confidence Intervals in Estimating Solute Flux from a Small Forested Catchment, American Geophysical Union 2008 fall meeting, 18th Dec. 2008, Moscone Convention Center, San Francisco

⑦朱 蓄，多田明夫，田中丸治哉：面源負荷量の推定精度について－USGS Load Estimatorの検証を中心として－，農業農村工学会京都支部第 65 回研究発表会，平成 20 年 11 月 6 日，福井市地域交流プラザ

6. 研究組織

(1) 研究代表者

多田 明夫 (TADA AKIO)

神戸大学・(連合) 農学研究科 (研究院)・准教授

研究者番号：00263400

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし