

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23580333

研究課題名(和文) 集水域水質モデルと簡便な負荷量予測式の開発

研究課題名(英文) Development of the simple load estimation formula based on catchment-scale water quality models

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は集水域からの物質流出量である流出負荷量の区間推定をおこなうため、負荷量予測式・水質応答モデルの改良を目指したものである。研究の結果、水質応答モデルが実際の水質濃度や瞬間流出負荷量の実測値に対して高い再現性を有することが重要なのではなく、流出負荷量水質試料のサンプリング法も含めた流出負荷量推定のこれまでの考え方自体に問題があることが明らかとなった。効率的なモンテカルロ数値積分法である重点的サンプリング法を適用することで、適切な流出負荷量の区間推定法を構成できるだけでなく、従来種々の方法で収集蓄積されてきた水質データに基づいても、適切な流出負荷量の区間推定を行うことが出来るようになった。

研究成果の概要(英文)：This research aimed at the establishment of the interval estimation method for mass load from a catchment ecosystem through the improvement of the performance of the water quality numerical/statistical model. As a result, it became apparent that the main hurdle to the proper interval estimation lies not in the improved performance of the water quality models but in the fundamental idea to calculate the mass load itself. An application of the importance sampling method, which is the one of the representative efficient Monte Carlo numerical integration methods, was an the right answer for this purpose. The importance sampling method gives the appropriate interval estimation methods of the mass load, not only as the new water quality monitoring method but also for the accumulated water quality data by the different sampling methods so far.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・地域環境工学・計画学

キーワード：流出負荷量 区間推定 モデル 重点的サンプリング モニタリング 面源 原単位

1. 研究開始当初の背景

1年といったある特定の期間における集水域からの物質の流出量である流出負荷量の値は、非特定汚染源からの発生源単位の推定の基となる数値であり、また地球化学的な観点からは集水域の物質収支特性を評価するための基礎となる数値でもある。砂防の観点からは土壌侵食量の推定にも利用される。それにもかかわらず、この値の推定法は科学的に確立されておらず、そのためのモニタリング法についても科学的定見が無い状態であった。

流出負荷量の推定に関わる数学的・科学的問題点が指摘されたのは1970年代後半の米国においてであった。その後、様々なサンプリング方法と負荷量の算出方法の組み合わせが提案され、今日に至っている。研究開始当初の時点でも現時点でも、流出負荷量の偏り無い推定法とそのため水質試料のサンプリング方法に関して、こうすれば良いという手法は提案されていない。はっきりしているのは、どのような手法の組み合わせを用いて、良い推定量を与える汎用的な方法はない、ということである。またこのような手法の確立を行うためには、高頻度の水質濃度と流量データが必要であり、それらに基づく真の流出負荷量値の代用値を正しく推定する必要があるが、そのような高頻度の水質観測データが論文として公表されるようになったのは2000年代後半となってからである。また流出負荷量の偏りを評価する手法についても、十分な共通認識が存在していなかった。

流出負荷量の推定の問題は大きく分けて、現地河川において水質試料をいつ採取するかというサンプリングの問題と、そうして得られたデータ(標本集団)を基にどのようにして流出負荷量の値を算出するかという算出手法の問題がある。前者では定期サンプリングを前提として、どの程度まで頻度を上げれば適切な推定量が得られるかという研究スタイルが一般的であり、後者では平均法、比推定法、レイティングカーブ法(代表的なものは瞬間流量と瞬間流出負荷量間の関係式であるLQ式を用いた方法)のいずれかの推定法を採用して計算するというのが一般的であった。

いずれにせよ、流出負荷量の推定法が確立されていない以上、離散的で数の少ない水質モニタリングデータに基づいた流出負荷量の値は、たとえ流量データが高頻度に得られていたとしても、どの程度真の値から乖離しているか、どの程度推定上のばらつきがあるか、といった基礎的な問いかけにさえも、答えることのできない、科学的根拠の脆弱なものであった。この結果、農林地をはじめとしたノンポイント汚染の研究や統合的な流域水質管理の研究の進展を阻害することとなっている。例えば、ある水田地帯を流下する河川の流出負荷量の値を推定するため、どのような頻度でいつ水質測定を行えば、どの程

度の誤差で流出負荷量が推定できるか、ということ自体が未だに不明なのである。またこれまで様々な研究で報告されてきた流出負荷量の値も、用いるデータが同一であっても採用する計算方法次第で異なる値となることは明白で、どのような計算方法が適切かわからない以上、その信頼性は担保されえず、このためにそのようなデータを集積したさらなる解析の実現を困難としていた(あるいは、その様な解析の科学的な信頼性を著しく損なわせるものとなっていた)。最も悲劇的な点は、流出負荷量の値は「測って見ないとわからない」のではなく、「測ってみてもよくわからない」点である。このような状況にもかかわらず、時代の要請を受け、これまで様々な期間に対して、また様々な国において、集水域からの流出負荷量を推定するための貴重なデータが研究者それぞれの方法により収集・蓄積されている。そういったデータを統一的に再吟味し、不偏な流出負荷量の推定を可能とし、より適切な流域水質統合管理を可能とするような手法も同時に要請されている。

上記のような問題の解決に向けて、研究代表者らは長年研究に取り組んできた。そのために、奈良県の山林流域で溶存態の水質項目と濁度の10分~15分おきの高頻度観測を行い、まず真値に相当するデータの取得に努めた。次に、十分な高頻度データに基づいて流出負荷量の区間推定を行ってきた。区間推定量を求める理由は、もし推定法が偏り無いものであれば、区間推定量の被覆確率(真値を信頼区間内に含む確率)が、標本数にかかわらず、設定した信頼水準に近い値をとるはずであり、そうでない場合には推定法に何らかの問題があることが明らかとなるためである。また流出負荷量の区間推定が可能となれば、閉鎖性水域への流入負荷量の水質管理を行う場合、確率論に基づいて管理を行える。点推定量に基づく管理は、統計学的に見てはなはだ非効率である(推定量の推定誤差が正規分布と仮定すれば、点推定値は非超過確率50%の値に過ぎず、この値を基に水質基準を設けても、水質目標が達成される確率は50%にしかならない)。

研究開始時における著者らの流出負荷量に関する研究成果として、レイティングカーブ法と定期サンプリング法の組み合わせでは、区間推定量の被覆確率が標本数に依存すること、必ずしも標本数が多いことが推定の良否に結びつかないこと、水質項目で推定結果が異なり上記区間推定法の汎用性が低いことがわかった。またサンプリング法として、Thomas(1988)らの確率論に基づく方法を採用しレイティングカーブ法により負荷量を算出した場合でも、適切な区間推定を行えないことがわかっていった。以上より、流出負荷量の推定値を偏らせる大きな原因の一つに、水質モデル、特に流量などから水質濃度や負荷量を予測するモデルの再現能力が低いこ

とが想定された。このため、当時の研究代表者には、この部分の改良が、流出負荷量の不偏推定に結びつく可能性が高いと判断された。

(引用)

Thomas, R. B., Monitoring baseline suspended sediment in forested basins: the effects of sampling on suspended sediment rating curves, *Hydrological Sciences Journal* 33(5), 499-514, 1988

2. 研究の目的

研究の大目的は、流出負荷量を偏り無く推定することであり、その区間推定法を確立することである。

総流出負荷量の区間推定において、従来よく利用されてきた種々の負荷量の平均値計算法や流量と濃度の回帰モデルをベースとする場合、モデルの構造に起因する偏り(系統誤差)を取り除くことができず、その信頼性が低下することが明らかとなっている。この点を改善するためには、流量と瞬間流出負荷量との回帰によらない負荷量推定法を検討するか、あるいは新たな回帰式や水質応答モデルを開発する必要がある。

本研究では、新たな回帰式・水質モデル、それは単回帰モデルよりも複雑な水質応答を可能とし、かつ扱いが簡便で普遍性のあるモデルであるが、これを構築し流出負荷量の推定に利用して、適切な推定を行うことを具体的な目的としていた。そのようなモデルの構築方法としては、流出モデルである TOPMODEL(1995)に地球化学的な土壌と水質濃度の関係を規定する Godsey(2009)のモデルを組み合わせた水質応答モデル、ニューラルネットワークを利用した濃度予測や時系列モデルによる濃度予測モデル、より物理的なプロセスを意識した貯留モデルなどを採用する。

これらのモデルにより水質変動の予測および時系列の推定を行った上で、これらのモデルの良否を負荷量の推定の確からしさの評価、あるいは推定値のバイアスの大きさの評価により判定することが具体的な当初の研究目的であった。流出負荷量の推定値の確からしさは bootstrap 法を利用した区間推定により行うこととした。

(引用)

Beven, K. et.al., TOPMODEL, in *Computer Models of Watershed Hydrology*, pp.627-649, 1995

Godsey, S.E et.al., Concentration-discharge relationships reflect chemostatic characteristics of US catchments, *Hydrological processes*, 23,1844-1864, 2009

3. 研究の方法

研究方法は、データのモニタリング、流出負荷量の推定モデルの構築から構成される。

(1)水質モニタリング

水質データのモニタリングは、2009年以降の期間において、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ている。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(Na^+)、カリウム(K^+)、塩化物(Cl^-)の3種の溶存イオン濃度と、積分球式濁度計による濁度から換算した懸濁物質(SS)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、流量とともに毎正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関係は、渓流水位上昇時に採水される自動採水機によるサンプルに基づいて決定されたが、線形性の高い関係式を立てることができた(両対数紙上での濁度と懸濁物質濃度の単回帰の傾きが1.1)。この回帰式と濁度の値から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となっている。更に、自動採水器では定期サンプリングも併せて行い、それらの試料のイオン成分やケイ酸塩濃度も分析して、解析に供することとした。

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ている。

流量および降水量データは、同流域に設置した自記水位計・雨量計により、毎正10分値のものを利用した。これらのデータは流域からの流出負荷量の真値を算出するのに必要なばかりでなく、様々なモデルの構築やサンプリング手法のシミュレーションに利用される。

(2)水質応答モデル・流出負荷量予測モデルの構築

流量や雨量、時刻などの情報から水質濃度や瞬間流出負荷量の値を推定するモデルを水質応答モデルと呼ぶ。従来の瞬間流量と瞬間流出負荷量とのべき乗型回帰式である LQ 式のような単純なものではなく、流出モデルである TOPMODEL に地球化学的な土壌と水質濃度の関係を規定する Godsey のモデルを組み合わせた水質応答モデル、ニューラルネットワークを利用した濃度予測や時系列モデルによる濃度予測モデル、より物理的なプロセスを意識した貯留モデルなどを利用する。特に、これに関しては、土壌の接触時間と水質濃度の変化を実験により求め、これと整合性を保つようなモデル構造を模索するものとする。

併せて、モデルの水質濃度・瞬間流出負荷量に対する再現性・表現力の向上が流出負荷量推定に及ぼす影響を調べるために、LOWESS 回帰を用いた評価も実施する。

(3)信頼区間の構成方法

流出負荷量の信頼区間の構成は、Bootstrap 法によって行う。Bootstrap 法といっても信頼区間構成法には様々な手法が提案されており、代表的なものでも基本ブートストラップ信頼区間、パーセントイル法、ブートストラップ t 法、BCa 法、ABC 法、分散安定化ブートストラップ t 法、マルチスケールブートストラップ法などがある。これらのうち、流出負荷量の区間推定に適した手法を調べる必要があり、併せて検討した。

4. 研究成果

(1)研究の推移

平成 23 ~ 24 年度前半まで

まず、奈良県の山林流域における溶存態と懸濁態の複数水質項目の高頻度モニタリングの実施と水質モデルの開発・シミュレーションを行った。水質モデルとしては、TOPMODEL と Godsey の地球化学モデルを統合し、高頻度のナトリウム水質濃度観測データと低頻度ではあるが土壌の影響が顕著なケイ酸塩濃度データに対してモデルを適用し、その濃度の再現性について検証した。その結果、そのような水文水質数値モデルを用いたとしても、流量の再現性が格段に改良されない限り、かえって水質濃度のシミュレーション再現性は低下すること、モデルの導入により、流量に対する水質濃度のヒステリシス応答などの物理的な水質応答の再現は可能となるが、負荷量推定の面からは従来の LQ 式などによる手法と比較して推定量の改良に結びつきがたいこと、モデルで考慮していない要因に起因する変動は全く説明が困難であり、これも流出負荷量の推定量の改良に結びつかないことが明らかとなった。

これまで、瞬間流量と瞬間流出負荷量が両対数紙上で線形関係を有すると仮定することができるため、べき乗型の LQ 式がレイティングカーブとして採用されてきたが、この線形回帰に LOWESS 回帰を利用することで、水質応答モデルの再現性が向上したと仮定した場合の、流出負荷量の推定精度の向上をシミュレーションすることが可能となる。この解析を溶存態の水質 3 項目に対して適用したところ、水質モデルの予測誤差について、系統誤差を減ずることができたとしても、流出負荷量の区間推定は十分満足できるものとならず、この結果流出負荷量の推定量も必ず偏りを有することがわかった。

特に後者の知見は当該研究テーマの課題設定および流出負荷量推定の偏りの原因に関して抜本的な問題を提起するものであった。これを受け、研究期間の中央で課題設定・大目的に到達するためのアプローチを見直すこととなった。

平成 24 年度後半 ~ 25 年度

その時点までの研究成果の見直しと追加の検討により、結局負荷量の推定の問題点は水質応答モデルの表現力にあるのではなく、流出負荷量という積算量の計算法の非効率性にあることがわかった。すなわち、効率的なモンテカルロ数値積分の一つである重点的サンプリングを負荷量推定に利用することで、遂に適切な流出負荷量の区間推定法を実現することができた。併せて、既に収集された水質・水量データに対して同手法を援用することで、偏りのない流出負荷量を得ることも可能となった。ブートストラップ法も適切な区間推定量を与える手法を選択することができた。もし不適切なブートストラップ手法を選んでしまうと、区間推定結果(被覆確率の値)が標本数に依存して変化してしまうこともわかった。

(2)得られた成果

集水域からの流出負荷量の不偏推定法および区間推定法について得られた知見は以下の通りである。

10 個程度以上のデータがあれば、適切に流出負荷量の区間推定を行うことが可能である。

これまでの流出負荷量の推定法は考え方に根本的な誤りがあり、ただ適切な推定値を与えることができていたのは Thomas(1985) が提案した SALT 法のみである。

Thomas のその後の論文での SALT 法の扱いを見れば明らかであるが、SALT 法がなぜ不偏推定量を与えるかについての数学的理解がこれまでされていなかった。このため、Thomas はその後 SALT 法を単なる水質試料のサンプリング法として独立させてしまったが、これは致命的な誤りであった。SALT 法の本質は、負荷量推定への重点的サンプリング法の適用である。このため、Thomas(1985)の論文に示した負荷量推定法が適切なのであり、サンプリング法と負荷量算出法を独立・分離することは不可である。

重点的サンプリングと適切なブートストラップ法の組み合わせにより、サンプル数、水質項目に関わらず、流出負荷量のおおよそ適切な区間推定が可能となった。ただし、データ数が小さな場合には、必ず偏りを生じるので、その修正が必要となる。この修正も考慮した流出負荷量の区間推定結果の例を以下に示す。

Table Coverage rate for 95% Confidence Interval of mass load from an experimental catchment (%)

Number of samples	SS	K ⁺	Cl ⁻	Na ⁺
10	95.2	93.8	95.1	93.3
20	93.1	93.0	92.4	93.3
50	95.4	93.9	92.8	94.8
100	94.5	95.4	93.8	95.1
200	95.2	94.6	95.3	94.7

この表より、水質項目、標本サイズにかかわらず、おおよそ適切な被覆確率を得ることができていることがわかる。

重点的サンプリング以外の方法で収集されたデータに対しても、本手法を適用することで、流出負荷量の適切な区間推定を行うことが可能である。

流出負荷量の推定に利用する水質モデルが満たすべき条件は、予測残差ができるだけ仮定する誤差分布（正規分布や対数正規分布）に近く、いわゆる回帰モデル適用の条件を満たすことである（回帰分散が変量に依存せず一定であること、残差の期待値がゼロであること、残差が確率分布に従うこと）。予測残差が小さな程、信頼区間の幅は狭くなる。

水質モデルに系統誤差が認められる場合、重点的サンプリングを用いても十分な信頼区間の構成ができない。この場合には水質応答が変化するような特定の流量で流量層別サンプリングを行い、それぞれの区間でモデルを決定すべきである。例えば全データを低水と高水に分割して、回帰式を立てることが具体的な対策として考えられる。

重点的サンプリングでは事前に流量と水質濃度・負荷量の関係式を決定しておかなければならないが、この関係式が実際に得られたデータと異なる場合には推定量に偏りを生じる。これを解消するにはの考え方を適用すれば良いが、流出負荷量の推定効率も低下する（信頼区間が広がる）。このペナルティを回避する方法を模索すべきである。

流出負荷量の区間推定への諸要因の影響は以下のようなものである。流量データの分布と流量・水質モデルの関数形は、サンプリングを行うタイミングに影響する。推定量の信頼区間幅は水質モデルの予測分散と標本数に依存する。つまり、流出負荷量の推定量への諸要因の影響の仕方を数学的に解釈・説明することが可能となった。

従来の定期サンプリングの頻度をどこまで高めれば良い流出負荷量が得られるか、というアプローチははなはだ非効率な考え方であり、全水質項目でそれを実現するための答えは、連続してサンプリングすること以外にない。これは、通常のモンテカルロ積分で、良い推定量を得るためにはシミュレーション回数を非常に大きくしなければならないことに対応する。このため、効率的なモンテカルロ積分法である重点的サンプリング法がこの問題の解決策として有効であった。

水質濃度の発生頻度分布や非超過確率を得るためのサンプリングと、水質濃度の流量荷重平均値あるいは流出負荷量を得るためのサンプリング法は異なるものである。前者は後者の目的に対しては非常に非効率である。

水質試料のサンプリング法に、コンポジットサンプリング法がある。これは一定時間毎に決まった試料を混合するか、あるいは一定の積算流量毎に、一定流量を採取して混合し、

その間の平均濃度を得るものである。後者は離散的な流量コンポジットサンプルと呼ばれる。重点的サンプリングの考え方に基づけば、流量コンポジットサンプリング試料は、離散的な手法で混合されていれば、必ず真の値から偏ることになる。下水道の試料分析などにこの手法は利用されているが、見直しが必要であろう（連続的に試料が流量に比例した量で分取されて混合されていれば問題ない）。

(3) 成果の国内外における位置づけとインパクト

以上の成果は非常に重要で、おそらく初めて流出負荷量の推定法の問題点を数学的に説明することに成功したばかりでなく、面源原単位の見直し、離散的流量比例サンプリング法の必然的偏りの指摘など、その影響範囲は広範である。

(4) 今後の展望

本研究の主な成果は水文学と水質汚濁研究の分野に貢献するものであり、また流量比例コンポジット試料の問題点は後者に対して影響が大きい。

今回の成果では、重点的サンプリング法に基づいて現地で採水計画を立てる場合の流出負荷量推定のペナルティの軽減方法（前々項の問題点）、急激な流量増加時に対する自動採水器側の物理的制限（例えば5分以内に次の採水すべきタイミングが発生したとしても、機械的に採水が不可能な場合があることなど）への対応などの、改良を図るべき課題が残されている。また流出負荷量の信頼区間も被覆確率は満足できるものだが、両側確率で危険率を考えているにもかかわらず、標本数が小さい、あるいは回帰の残差分散が大きな場合に、中央より過小評価側に偏った信頼区間を構成している。後者の問題の解決策は既にわかっているので、その検証を急ぐ予定である。同時に、同解決策によって、前掲の表に見られるような標本数が20~50当たりで被覆確率が若干低下する問題も改善されることが予想されている。

最後に、本手法を通じて、初めて流域単位の水質統合管理が、ある程度科学的に検証することができるようになって考えている。本手法による既存データの利活用、新たなサンプリング計画の樹立を期待したい。

また、従来の方法による面源負荷量はすべからず過小推定されている可能性が高いことも今回の研究を通じてわかってきた。このため、過去に推計に利用されたものと同じのデータを用いて再解析をおこなうことで、例えば琵琶湖や霞ヶ浦などの閉鎖性水域への流入負荷量の推定自体に大きな変更が生じる可能性が高い。この観点から、関係の研究機関・行政機関と協力して、この面の再評価に繋げていきたいと考えている。

（引用）

Thomas, R.B., Estimating Total Suspended Sediment Yield with Probability Sampling, Water

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

栗原周平・多田明夫・田中丸治哉, 山林小流域からの溶存物質の総流出負荷量の推定法の評価, 農業農村工学会論文集, 査読有, 2013, 286, 77-86

〔学会発表〕(計 11 件)

Akio Tada, Yuka Kuribayashi, and Haruya Tanakamaru; Estimating Loads from a Small Forested Catchment; An Evaluation Based on High-frequency Water Quality Data, AGU fall meeting 2013, Dec. 9th - 13th, 2013, Moscone Center, San Francisco, USA.

栗林由佳・多田明夫・田中丸治哉, 小標本集団に基づく SS の総流出負荷量の推定について, 農業農村工学会京都支部第 70 回研究発表会講演要旨集, 農業農村工学会京都支部第 70 回研究発表会講演要旨集, 2013 年 11 月 13 日~11 月 14 日, 京都テルサ

多田明夫・田中丸治哉・栗原周平, サンプルング法の負荷量推定への影響, 平成 25 年農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 2013 年 9 月 3 日~9 月 5 日, 東京農業大学

栗林由佳・多田明夫・田中丸治哉, 山林小流域からの懸濁物質の総流出負荷量の区間推定について, 平成 25 年農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 2013 年 9 月 3 日~9 月 5 日, 東京農業大学

多田明夫, 田中丸治哉, 山林からの溶存イオン流出負荷量の LOWESS 法による区間推定について, 2012, 水文・水資源学会 2012 年度研究発表会要旨集, 2012 年 09 月 27 日~09 月 28 日, 広島市西区民文化センター

栗林由佳, 多田明夫, 田中丸治哉, SALT 法を利用した山林流域からの懸濁物質負荷量の推定について, 2012, 水文・水資源学会 2012 年度研究発表会要旨集, 2012 年 09 月 27 日~09 月 28 日, 広島市西区民文化センター

多田明夫, 田中丸治哉, 流出負荷量の区間推定における bootstrap 法の適用について, 2012, 平成 24 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 2012 年 09 月 18 日~09 月 20 日, 北海道大学

栗原周平, 多田明夫, 田中丸治哉, LQ 式を用いた流出負荷量推定の留意点について, 2012, 平成 24 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 2012 年 09 月 18 日~09 月 20 日, 北海道大学

栗原周平, 多田明夫, 田中丸治哉, 確率的サンプリングを用いた流出負荷量の区間推定について, 農業農村工学会京都支部第 68 回研究発表会, 2011 年 11 月 17

日, 奈良県文化会館

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, 2011 年 9 月 7 日, 九州大学箱崎キャンパス

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, 2011 年 9 月 7 日, 九州大学箱崎キャンパス

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