

令和 3 年 6 月 6 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13835

研究課題名（和文）流域圏を対象とした気候変動抑制に向けた温室効果ガスの源である炭素流出機構の解明

研究課題名（英文）Mechanisms of carbon runoff in river basin to control climate change

研究代表者

丸谷 靖幸（Maruya, Yasuyuki）

九州大学・工学研究院・助教

研究者番号：50790531

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：世界中において気候変動が問題となっており、豪雨に伴う河川氾濫などの被害が頻繁に生じている。この気候変動の要因の1つである炭素を主な研究対象として、流域圏における温室効果ガスの源である炭素（物質）の流出機構の解明を主な目的として研究を実施した。本研究では、分布型水文流出モデル（水工学）と陸域生態系モデル（森林生態学）といった異なる研究分野で開発された数値モデルの統合により、物質流出機構を解明することを試み、両モデルをオフライン結合ではあるものの、統合化することが可能となった。また、気象観測データが乏しく適用が難しい地域でも本モデルによる解析を可能とするため、疑似観測データ作成手法の開発も行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

環境物質（炭素を含む有機物や栄養塩）による流域圏での影響が顕在化するまでには非常に長い年月が必要となる。また、近年の人口減少や少子高齢化社会において、流域利用などが変化していくことが予想される。そのような環境下において流域環境を保全していくには、物質を物理的かつ定量的に推定・予測可能な手法が望まれる。そこで本研究で構築した分布型水文流出モデルと陸域生態系モデルの統合化モデルの活用ならびに改良することで、流域における物質動態を定量的かつ長期的に推定することが可能となり、流域環境評価および保全に貢献することが可能となる。

研究成果の概要（英文）：It has been suggested that the impact of climate change which is demonstrated by IPCC AR5 will lead to increased environmental damage through increasing the frequency and/or intensity of flood events in the world. Greenhouse gases, such as CO₂ and CH₄, are considered essential factors in climate change. Therefore, this study aimed to reveal the mechanisms of the carbon runoff focusing on the carbon which is essential factors in climate change. In this study, we made an attempt to develop the coupling model which is combine distributed hydrological model based on hydraulic engineering and terrestrial ecosystem model based on forest ecology. As the result, although the coupling model was offline coupling, it could be developed that. In addition, in order to be possible to analysis using the developed model in data scarce catchment, we developed the pseudo meteorological data creation method based on the statistical correction method.

研究分野：水文学，環境水理学

キーワード：気候変動 流域圏 物質循環 流出モデル 陸域生態系モデル 再解析データ

1. 研究開始当初の背景

世界中において、温暖化や降水パターンの変化といった気候変動が問題となっており、豪雨に伴う河川氾濫などの被害が頻繁に生じている。この気候変動の要因として、大気中の二酸化炭素 (CO₂) やメタン (CH₄) などの温室効果ガスの増加である可能性が指摘されている。CH₄ は大気中の寿命が CO₂ と比べて 0.5~20 倍と決して長くはないものの、温室効果が CO₂ の約 25 倍であるため、大気中の CH₄ 濃度の増加に伴い温暖化が促進される可能性がある。CO₂ は主に人為起源であるため、適切な適応策を取ることで増加を抑制、減少させることが可能であり、国際的な取組として 2015 年 12 月 12 日に採択されたパリ協定 (COP21) が記憶に新しい。一方、CH₄ は自然起源 (湿地、湖沼) による放出量が全放出量の約 20~40 % であると言われており (IPCC, 2007)、自然起源では、炭素 (C) や有機物の微生物分解や様々な化学反応により形成されている。そのため、温室効果ガス放出抑制には、流域圏における炭素や有機物動態を把握することが重要である。

2. 研究の目的

地球上で早急に対応すべき課題として、気候変動の抑制が挙げられる。その要因である温室効果ガスの源である炭素収支については、現地観測や全球シミュレーションにより研究されているものの、山地から平野、沿岸域といった人々が生活する流域圏を対象とした研究例は少ない。さらに、流域圏から流出する大量の炭素を含む溶存有機物 (DOM) は、河川・沿岸域生態系の重要な微量栄養塩も含んでおり、現在の豊かな流域圏を保全するには、炭素循環を理解することは非常に重要である。ただし、既往の研究では炭素収支については、現地観測や全球シミュレーションにより研究されているものの、山地から平野、沿岸域といった人々が生活する流域圏を対象とした研究例は少ない。そこで本研究では、流域圏における温室効果ガスの源である炭素の流出機構の解明を主な目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、森林生態学分野におけるポイントでの炭素固定能に関する観測・モデル研究と水工学分野における流域圏スケールでの水・物質動態研究を統合化し、流域圏における炭素流出機構の解明に取り組んだ。具体的には下記の研究を実施した。

- ① 分布型水文流出モデルを用いた水・物質流出機構の解明
- ② 水文流出モデル (水工学) と陸域生態系モデル (森林生態学) の統合化に関する検討
- ③ 各モデル入力値 (気象データ) の乏しい流域における疑似観測データの作成に関する検討

4. 研究成果

「3. 研究の方法」で記載した研究テーマで得られた成果について、簡潔に記載する。

① 分布型水文流出モデルを用いた水・物質流出機構の解明

水・物質流出量を表現可能な分布型水文流出モデルを構築するため、北海道の知床羅臼川流域を対象に、流域から流出する水・物質 (ここでは観測データが豊富に存在した窒素を対象) 流出量の推定と、流域からの水・物質流出量に対する気候変動影響評価ならびに、知床羅臼川流域の栄養塩循環の変化について検討を行った。なお、気候変動の影響評価には、CMIP5 で提供される 6 つの General Circulation Models (GCMs) の出力値 (降水量と気温) を利用した。

まず、分布型水文流出モデルによる河川流量の再現については、Motovilov et al. (1999) により Nash 指標が 0.36-0.75

であれば十分な計算精度を有すると示唆しており、本モデルでは Nash 指標が 0.4689 を示したため、概ね良好のモデルを構築することが出来た。続いて、GCMs 出力値を構築した分布型水文流出モデルの入力値として流出解析を行った。その結果、積雪寒冷地域である知床羅臼川流域では、温暖化に伴い降雪が降雨に変化する関係により、冬季の流量および栄養塩流出量が増加することが明らかになった。一方、降雪が降雨に変化するため、融雪期の流量および栄養塩流出量が減少することも明らかとなった。最後に、Nakayama et al., (ECSS, 2018) において、知床羅臼川流域において安定同位体比を用いた陸域-海域間の栄養塩循環割合が推定されているため、その結果を利用し、将来の陸域-海域間の栄養塩循環がどのように変化するかを評価した結果、年間を通じた陸域からの栄養塩流出量は将来増加する可能性があるため、現在の栄養塩循環を維持するには、海域からの栄養塩供給、つまりサケやマスの遡上数が増加する必要があることが示唆された (図-1)。

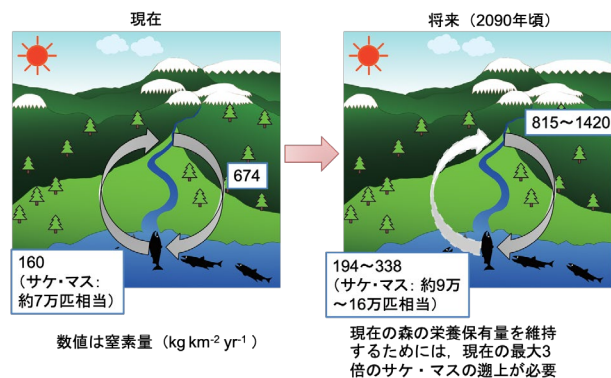


図-1 知床羅臼川流域における陸域-海域間の栄養塩循環に与える気候変動による影響

② 水文流出モデル（水工学）と陸域生態系モデル（森林生態学）の統合化に関する検討

水文流出モデルと陸域生態系モデルの統合化を行うため、本検討では北海道の別寒辺牛川流域を対象とした。なお、水文流出モデルには上述した分布型水文流出モデル、陸域生態系モデルには気候変動・社会変化に伴う植生動態の変化をモデル化することが可能な森林景観モデル（Forest Landscape Model, FLM）の1つである LANDIS-II を陸域生態系モデルとして用いた。LANDIS-II はバイオマスや炭素循環を表現することが可能であるという特徴を有している。また、本研究では同流域を対象に LANDIS-II による計算が実施されている Haga et al. (Sustainability Science, 2018) の結果を利用した。

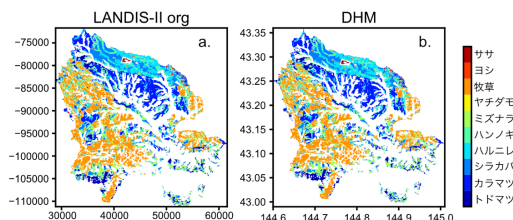


図-2 現在（2016年）における LANDIS-II による出力値（変換前）と本研究で構築した変換手法による空間情報の変換結果（変換後）の植生分布（a：変換前，b：変換後）

これらの水文流出モデルと陸域物質循環モデルの結合を行う上で、オンライン結合（逐次、計算結果を両モデルで共有する方法）とオフライン結合（先に片方のモデル（今回の場合は陸域物質循環モデル）で計算を実行し、全計算が終了した段階で出力結果をもう一方のモデルに共有する方法）が考えられる。前者のオンライン結合の場合は、お互いの計算結果を逐次、反映することが出来るため、例えば、陸域物質循環モデルの課題とされる水収支の部分を流出モデル側の結果を与えることで、陸域物質循環の計算精度が向上する可能性がある、といったメリットが存在する。しかし、多くの場合、両モデルは個別に異なる研究者により開発されるため、例えば開発環境が異なる（C言語や Fortran, Windows や Linux など）、などといった課題が生じるため、簡単には両者を結合することは困難である。一方、後者のオフライン結合では、オンライン結合のメリットを反映するには、「流出モデル（水収支の計算を実施、共有）⇒陸域物質循環モデル（物質循環の計算を実施、共有）⇒流出モデル（水・物質流出量の計算を実施）」といったような複数回のやり取りが必要となるといったデメリットが存在する。しかし、それぞれ個別に計算を実行するため、オンライン結合のデメリットである開発環境の違いなどといった点は、モデル開発者が互いの結果を反映できるように個々にモデル構造を改良するのみで済むため、大きなデメリットとはならない。そこで本研究では、陸域物質循環モデルと流出モデルを結合する初期段階として、まずはオフライン結合により両モデルを結合させることとした。本研究では、陸域物質循環モデルによって計算される土壌内における物質（本研究では、窒素濃度を対象）を流出モデルにおいて入力値と出来るよう、異なる座標系で計算される空間情報の変換手法を確立した（図-2）。また、流域からの水・物質流出機構を評価することであるため、水と同時に物質が移動する効果を考慮する必要があるため、分布型水文流出モデルへ移流効果を導入するため、1次元移流拡散方程式を導入した。

③ 各モデル入力値（気象データ）の乏しい流域における疑似観測データの作成に関する検討

本研究で対象とする気候変動の源となる物質動態は長期的な気候や社会状況の影響を受けて変化するため、長期間の解析を行う必要がある。ただし、例えば気象観測期間が数年から10年程度の観測データの乏しい流域は特に山地森林流域では数多く存在する。そこで分布型水文流出モデルや陸域生態系モデルの入力値の作成、さらに観測データの乏しい流域において気候変動影響評価を行うことを目的に、Web等から容易に入手可能な再解析データ（JRA-55）に対し、統計的補正手法を複数地点に適用し、疑似（準）観測データを作成した。この統計的補正手法を構築するに当たり、どの程度の年数の観測値を利用することで、補正精度が高い準観測データを作成することが可能かを検証するため、本研究では最新の観測年から20年、15年、10年、5年と遡った期間を較正期間とすることで統計的補正手法を構築し、統計値および降水頻度分布の比較を行った。その結果、最低15年程度の観測（較正）期間を用いることで低頻度に発生する高降水量も含め、観測値の統計情報を反映した高精度な準観測データを作成出来る可能性を確認した。

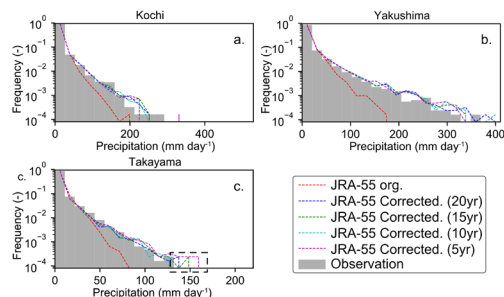


図-4 検証期間（1959年から1992年）における日降水量のヒストグラム。（a）高知，（b）屋久島，（c）高山。（灰色バー：観測値，赤破線：補正無し，青破線：較正期間20年，緑破線：較正期間15年，水色破線：較正期間10年，ピンク破線：較正期間5年）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 丸谷靖幸, 渡部哲史, 玉川一郎	4. 巻 75
2. 論文標題 流域スケールの気候変動影響評価に向けたJRA-55の統計的補正手法と力学DSの比較	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 1123-1128
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 田中智大, 渡部哲史, 小槻峻司, 林善晃, 丸谷靖幸, 峠嘉哉, 山崎大, 木村匡臣, 田上雅浩, 江草智弘, 橋本雅和, 仲吉信人	4. 巻 31
2. 論文標題 最前線の水文・水資源学 ~ WACCA世代の挑戦 ~	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 水文・水資源学会誌	6. 最初と最後の頁 509-540
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 丸谷靖幸, 原田守啓, 伊東瑠衣, 川瀬宏明, 大染浩司, 佐々木秀孝	4. 巻 74
2. 論文標題 気候変動影響評価に向けた降雨分布の空間解像度が流出解析に与える影響に関する検討	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集G (環境)	6. 最初と最後の頁 147-156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 丸谷靖幸, 原田守啓, 伊東瑠衣, 川瀬宏明, 大染浩司, 佐々木秀孝	4. 巻 74
2. 論文標題 気候変動影響評価に向けた気候モデルおよび影響評価モデルの不確実性の評価	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 109-114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 村岡裕由, 丸谷靖幸, 永井信	4. 巻 128
2. 論文標題 山地森林の炭素循環と生態系機能の環境応答に関する長期・複合的研究の展望	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 地学雑誌	6. 最初と最後の頁 129-146
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 永井信, 丸谷靖幸, 斎藤琢	4. 巻 8
2. 論文標題 中山間地域の流域における人・森林・気象災害の現状と関わり: 高山市大八賀川流域における豪雨・豪雪を事例として	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 流域圏学会誌	6. 最初と最後の頁 10-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計11件(うち招待講演 0件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 丸谷靖幸
2. 発表標題 流域圏における水・物質動態の解明・長期予測に向けた気象データ作成手法の検討
3. 学会等名 第4回流域圏保全研究推進セミナー
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 丸谷靖幸
2. 発表標題 産官学連携による地域課題解決に資する気候変動予測情報活用手法の開発 - 気候変動が湖沼や流域圏の水環境に及ぼす影響の解明に向けて -
3. 学会等名 第32回(2019年度)水文・水資源学会総会・研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 玉川一郎
2. 発表標題 流域圏における長期的な水・物質動態の予測に向けた再解析データの利用
3. 学会等名 第32回(2019年度)水文・水資源学会総会・研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuyuki Maruya
2. 発表標題 Prediction of river flow regime under climate change in a cold region using large ensemble of climate experiment
3. 学会等名 27th IUGG General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丸谷靖幸
2. 発表標題 気候変動影響評価に向けた降雨分布の空間解像度が流出解析に与える影響に関する検討
3. 学会等名 第26回地球環境シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 丸谷靖幸
2. 発表標題 気候変動影響評価に向けた気候モデルおよび影響評価モデルの不確実性の評価
3. 学会等名 第63回水工学講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasuyuki Maruya
2. 発表標題 Climate change impact assessment on nutrient circulation using General Circulation Models output in Shiretoko, Japan
3. 学会等名 Global Land Programme 2018 Asia Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 丸谷靖幸
2. 発表標題 温暖化環境下における全球気候モデル出力値を用いた栄養塩循環機構の推定
3. 学会等名 第66回日本生態学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuyuki Maruya
2. 発表標題 Research prospect on integration of hydrology and ecology in river basin study
3. 学会等名 The 3rd of International symposium of river basin studies -towards the interdisciplinary study for sustainable basin environment and human well-being- (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丸谷靖幸
2. 発表標題 流域スケールの気候変動影響評価に向けたJRA-55の統計的補正手法と力学DSの比較
3. 学会等名 第64回水工学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丸谷靖幸
2. 発表標題 JRA-55降水量の統計的補正手法の開発に必要な観測年数に関する検討
3. 学会等名 第65回水工学講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関