

## 地球規模での環境変動が知床の栄養流出に及ぼす影響評価

Effect of Climate Change on the Nutrient Discharge in Shiretoko

北見工業大学大学院	○学生員	丸谷靖幸	(Yasuyuki Maruya)
北見工業大学	正会員	中山恵介	(Keisuke Nakayama)
気象研究所	正会員	仲江川敏之	(Toshiyuki Nakaegawa)
港湾空港技術研究所	正会員	井上徹教	(Tetsunori Inoue)
北見工業大学	非会員	小俣雅嗣	(Masashi Komata)
北陸地方整備局	正会員	石田哲也	(Tetsuya Ishida)
北見工業大学	正会員	駒井克昭	(Katsuaki Komai)

## 1. はじめに

海域を含む知床半島周辺には、オオワシやオジロワシなどの絶滅危惧種をはじめとした多種多様な生物が生息している。さらに海洋生態系と陸上生態系の栄養循環の相互関係が生態系を育てているという特殊性が評価され、知床半島と海岸線から約3 kmの範囲が2005年7月17日に日本で3件目となる世界自然遺産に登録された。

しかし近年、平成23年7月の新潟・福島豪雨などのような局所豪雨が頻繁に発生するなど、地球規模での環境変動が問題となっている。気候変動における政府間パネル(IPCC)第5次報告書は、今世紀末までに気温が0.3~4.8℃上昇する可能性が指摘されている<sup>1)</sup>。また、知床半島が面するオホーツク海への流水の漂着量の減少などが報告されており<sup>2),3)</sup>、海域からの栄養の還元量の低下が懸念される。そのため、知床半島における生態系を保全するには、将来の栄養循環機構の予測に向けた手法を確立する必要があると考えられる。

既往の研究において、Maruya et al.<sup>4)</sup>や Aynur<sup>5),6)</sup>らは知床ラウス川を対象として、安定同位体比を利用した解析により、海域から陸域への栄養の還元割合を推定している。将来予測は、既往の研究では全球気候モデル(Global Climate Model: 以下GCM)が利用されている。Nakayama et al.<sup>7)</sup>は知床ラウス川において、気象研究所で作成されたMRI-GCM20の現在気候(1980年から1999年)の降水量を利用し、陸域からの栄養流出量の予測手法の基礎的検討を行っている。しかし、既往の研究では異なるバイアス補正手法による推定値のばらつきなどGCMの利用する際の検討が不十分である。

そこで本研究では、気象研究所で作成されたMRI-AGCM3.1Sを利用し、異なるバイアス補正手法による流域からの栄養流出量の推定値のばらつきについて検討を行った。

## 2. ラウス川流域における栄養流出量の推定

本研究では知床半島で最大の流域面積を持つラウス川流域を対象とした<sup>4),5),6)</sup>(図-1)。ラウス川は流域面積が31.8 km<sup>2</sup>、平均河道勾配が約1/7である。ラウス川流域からの栄養流出量は、既往の研究と同様に流量と栄養濃度の関係から推定することとした。

ラウス川流域における流量の推定は、2009年の現地

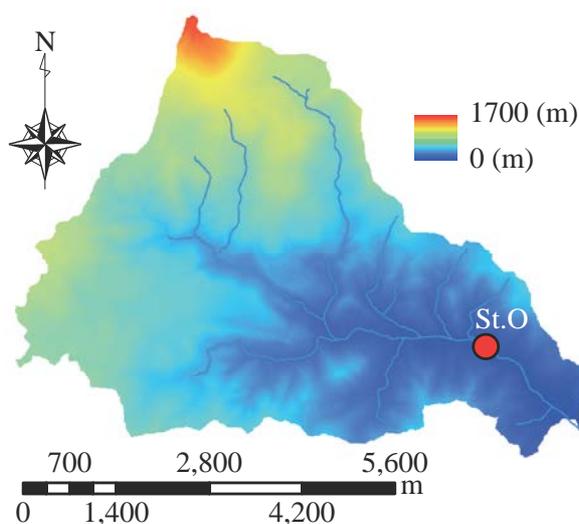


図-1 ラウス川流域の標高と観測地点。

観測結果を基に、貯留関数法により融雪の影響がない6月から10月の5ヶ月間の流量の再現を試みた(式(1), (2))。

$$\frac{ds}{dt} = fr - q \quad (1)$$

$$S = Kq^p \quad (2)$$

ここで、 $S$ : 貯留高、 $r$ : 降水量、 $q$ : 流出高、 $f$ : 流出率(本研究では、 $f=0.7558$ とした)、 $K$ 、 $p$ : モデルパラメーター(本研究では、 $K=12$ 、 $p=0.6$ とした)である。

流量の再現精度の検証に Coefficient of Determinant (CoD) を用いたところ、CoD が 0.6156 と一般的に高精度と言われる 0.6 以上の値を示したため、本研究で用いたモデルによる再現精度に問題がなかったことを記しておく。

ラウス川流域から流出する栄養は、既往の研究により粒状体が流量の関数であることが示されている<sup>6)</sup>。そこで本研究も同様に図-1の St.O で計測された流量と栄養濃度の関係をモデル化した(式(3), (4), (5))。

$$SS = 1.3015 \cdot Q^{1.9484} \quad (3)$$

$$PTN = 0.0030 \cdot Q^{1.9051} \quad (4)$$

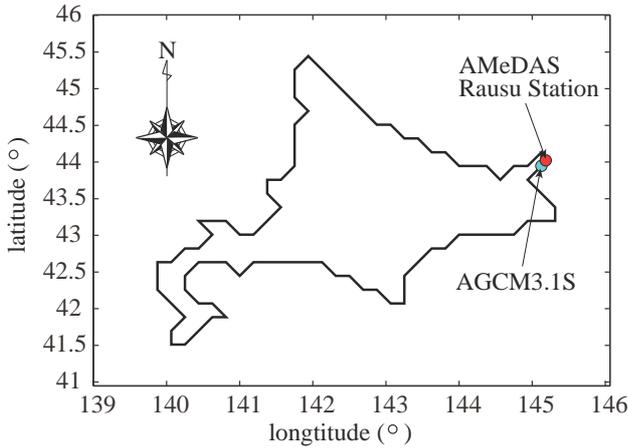


図-2 AGCM3.1S で表現される北海道 (赤○が AMeDAS 羅臼観測所, 水色○が解析で利用した地点を示す)。

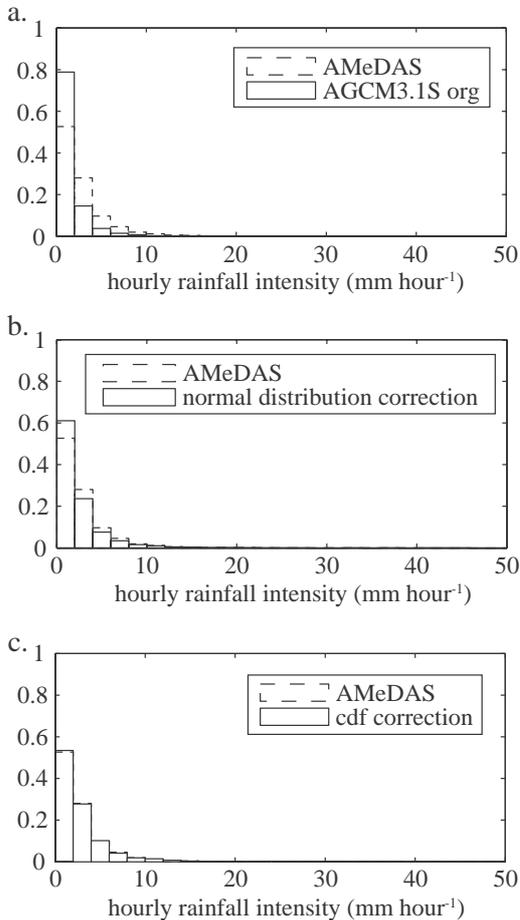


図-3 現在気候における降水量のヒストグラム (AMeDAS を点線で示す) . a: AGCM3.1S オリジナルデータ, b: 正規分布型手法, c: cdf 手法.

$$PTP = 0.0017 \cdot Q^{1.9518} \quad (5)$$

ここで,  $Q$ : 流量,  $PTN$ : 粒状態窒素,  $PTP$ : 粒状態リンである.

### 3. 異なるバイアス補正手法の適用

#### 3.1 MRI-AGCM3.1S データと観測データ

本研究では, 観測データとして AMeDAS 羅臼観測所で計測された時間降雨量, 予測値として気象庁気象研究所で作成された MRI-AGCM3.1S (AGCM3.1S) による時間降雨量の出力値を利用した. 対象期間は 1979 年から 2003 年 (現在気候), 2075 年から 2099 年 (将来気候) の各 25 年間の降雪の影響が少ない 5 月から 10 月とした. また, AGCM3.1S は AMeDAS 羅臼観測所の緯度・経度と最も近い点を解析に利用した (図-2) .

#### 3.2 バイアス補正の適用結果

降水量や気温, 風などを対象にバイアス補正は, 多くの研究者によって研究が行われてきた<sup>7),8),9)</sup>. しかし, 異なるバイアス補正手法による予測値のばらつき等の検討などは不十分である. そこで本研究では正規分布型手法と cdf 手法の 2 種類のバイアス補正を現在気候に対して行った. バイアス補正手法についての詳細は参考文献を参照いただきたい<sup>7),8),9)</sup>.

AGCM3.1S に対してバイアス補正を行った結果, 降雨量の発生頻度が正規分布型手法では数 mm/hr に集中しており, 数 10 mm/hr などの洪水を引き起こすような降雨量の再現精度が低いことが分かる (図-3) . 一方, cdf 手法は全体的に AMeDAS と同様な発生傾向を示している. そのため, 降雨量のバイアス補正には cdf 手法の利用が望ましいことが確認された.

#### 3.3 流量と栄養の再現結果

現在気候における 6 月から 10 月において AMeDAS, AGCM3.1S のオリジナルデータ, 正規分布型手法および cdf 手法によってバイアス補正された AGCM3.1S の降雨量を用いて貯留関数法により流量を推定し, 再現性の検討を行った (式(1), (2)) . 25 年間の月平均総流量が正規分布型手法および cdf 手法の両者とも AMeDAS と比較して 8 月に過大, 10 月に過小評価となっていたが, 全体的に大きな差が存在しておらず, バイアス補正を行うことで流量も良好に再現できることが確認された (図-4) .

次に, 流域からの流出量の再現性について検討した. SS, PTN, PTP の関係式でべき乗の係数に大きな差がないため, 本研究では PTN の流出量に着目し考察する (式(3), (4), (5)) . 正規分布型手法では AMeDAS による推定値と比べて最大で約 5 倍もの流出量となることが確認された (図-5) . 一方, AGCM3.1S のオリジナルデータでは全体的に過小評価となることが分かった. 式(4)で示されるように栄養流出量は流量の約 2 乗に比例するため, 洪水のような流量の発生回数が栄養流出量を支配しており, この発生回数の差が栄養流出量に影響を及ぼしていると推測される. そこで本研究では, PTN の流出量に差が大きく発生している 8 月, 9 月, 10 月において, 知床ラウス川流域で洪水流量に匹敵する 50 m<sup>3</sup>/s 以上の発生回数の確認を行った (表-1) . その結果, AMeDAS と比較して洪水流量の発生回数が多い場合は PTN 流出量が過大, 少ない場合は過小評価となる

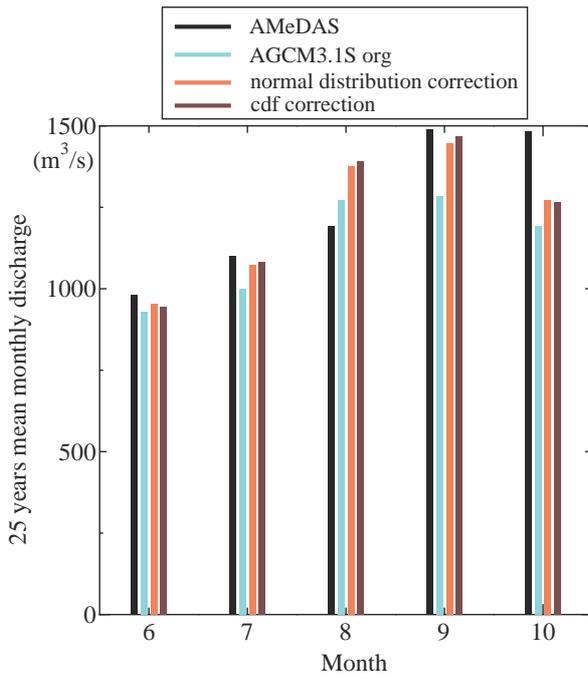


図-4 現在気候の6月から10月における25年間の月平均総流量.

ことが分かった. cdf 手法では, 8月に過大, 10月に過小傾向を示しているが, AGCM3.1S のオリジナルデータおよび正規分布型手法よりも高精度に再現出来ることが示された.

#### 4. 将来気候における結果と考察

現在気候と同様に PTN 流出量に着目し, 6月から10月の将来気候(2075年から2099年)における栄養流出量の予測を行った. PTN 流出量は, 2009年の再現計算で得られたパラメータ ( $K=12$ ,  $p=0.6$ ) を貯留関数法に適用して推定された流量を利用し, 流量と栄養濃度の関係式により算出した(式(1), (2), (4)).

現在気候と将来気候における25年間の月平均PTN流出量を図-6に示す. PTN 流出量は, 6月と8月に将来気候で増加傾向を示した(図-6). 現在気候におけるPTN 流出量の再現計算結果で示された通り,  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  以上の流量の発生回数が流出量を支配していると考えられる. そこで現在気候と同様に  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  以上の流量の発生回数を確認した. その結果, 6月, 8月において正規分布型手法および cdf 手法の両者とも25年間で約10回増加しており, この増加に伴い PTN 流出量が増加したと推測された.

最後に, 降雪および融雪の影響を除いた期間における流域からの栄養流出量を評価するため, 現在気候と将来気候における SS, PTN, PTP の25年間の総流出量を算出した(表-2). その結果, 将来気候における栄養流出量は現在気候よりも増加する可能性が示唆された. ここで, 現在気候と将来気候の両者において  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  以上の流量の発生回数を比較したところ, 25年間で正規分布

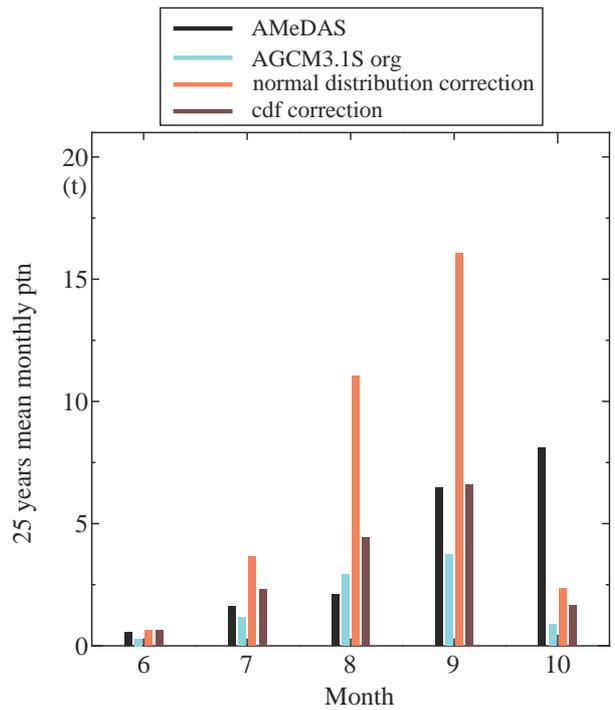


図-5 現在気候の6月から10月における25年間のPTNの月平均総流出量.

表-1 現在気候の8月から10月における  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  以上の発生回数.

	August	September	October
AMeDAS	13	34	35
AGCM3.1S org	14	11	3
normal distribution correction	29	44	18
cdf correction	20	27	8

型手法は23回, cdf 手法は30回, 将来気候で増加することが分かった. 既往の研究で示唆されているように, 地球規模での環境変動によると考えられる局所豪雨の発生に伴い洪水流量が増加し, 栄養流出量が増加するのではないかと推測される. 今後はより詳細な検討を行うため, マルチモデルによる検討を進めていく予定である.

#### 5. おわりに

本研究では, 気象庁気象研究所で作成された MRI-AGCM3.1S を用いることで栄養流出量の将来予測手法の検討を行った.

- (1) GCM による降雨量を cdf 手法によりバイアス補正することで, 流量も良好に再現することが確認された.
- (2) 栄養流出量の増加は洪水流量の発生回数の増加に伴うことが分かった. また, 洪水流量の発生回数

表-2 現在気候と将来気候の6月から10月における25年間の流域からの総栄養流出量.

	1979-2003			2075-2099		
	SS	PTN	PTP	SS	PTN	PTP
AMeDAS	68.50x10 <sup>6</sup>	0.1323x10 <sup>6</sup>	0.09073x10 <sup>6</sup>			
AGCM3.1S org	32.06x10 <sup>6</sup>	0.06246x10 <sup>6</sup>	0.04244x10 <sup>6</sup>			
normal distribution correction	124.4x10 <sup>6</sup>	0.2348x10 <sup>6</sup>	0.1651x10 <sup>6</sup>	148.9x10 <sup>6</sup>	0.2808x10 <sup>6</sup>	0.1976x10 <sup>6</sup>
cdf correction	56.00x10 <sup>6</sup>	0.1087x10 <sup>6</sup>	0.07414x10 <sup>6</sup>	67.12x10 <sup>6</sup>	0.1301x10 <sup>6</sup>	0.08888x10 <sup>6</sup>

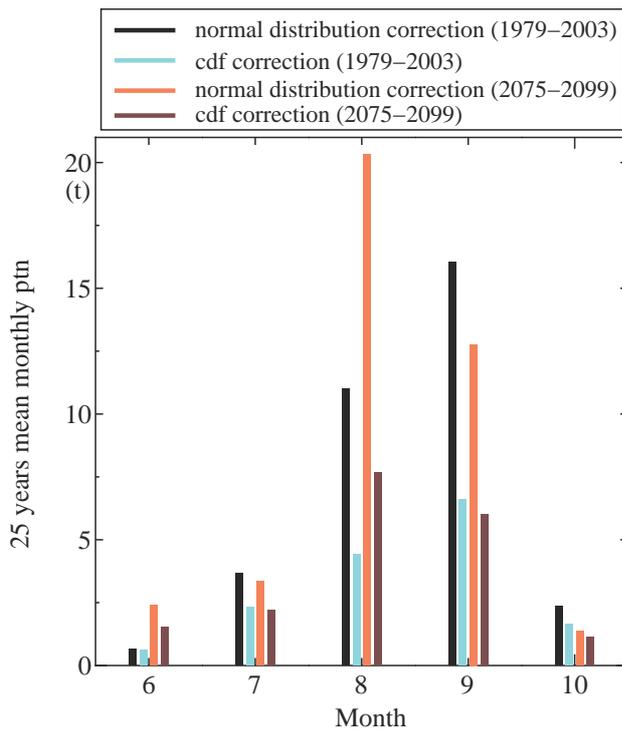


図-6 現在気候と将来気候の6月から10月における25年間のPTNの月平均総流出量.

の増加に伴い、栄養流出量が現在気候と比較して将来気候で増加する可能性が示唆された。

- (3) 現在気候および将来気候における SS, PTN, PTP の 25 年間の総流出量を算出した結果、将来気候では、洪水流量の発生回数が増加し、栄養流出量が増加する可能性が示唆された。

参考文献

1) Twelfth Session of Working Group I : Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report Climate Change 2013: The Physical Science Basis Summary for Policymakers, 2013,

[http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGI\\_AR5-SPM\\_Approved27Sep2013.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGI_AR5-SPM_Approved27Sep2013.pdf).

- 2) 小杉知史, 高橋修平, 堀彰: 知床半島ウトロを中心としたオホーツク海南西部の海水勢力と沿岸気象条件, 北海道の雪氷, 第28号, pp.77-80, 2009.
- 3) 青田 昌秋: オホーツク海・北海道沿岸域における流氷勢力の減少傾向(1892年-2000年), 号外海洋, 第30巻, pp.18-24, 2002.
- 4) Maruya Y., A. Abuliz, K. Nakayama, T. Kuwae, T. Okada, T. Ishida : Mass transport and nutrient circulation evaluated by stable isotope analysis and chemical decomposition, APHW, pp.428-435, 2010.
- 5) Aynur Abliz, 中山恵介, 丸谷靖幸, 桑江朝比呂, 岡田知也, 石田哲也: 安定同位体比による知床ラウス川を通じた海起源栄養塩の流域内分布, 水工学論文集, 第55巻, pp.1303-1308, 2011.
- 6) Aynur Abliz, 中山恵介, 丸谷靖幸, 井上徹教, 桑江朝比呂, 館山一孝, 岡田知也, 加藤淳子, 石田哲也: 知床を対象とした海陸の栄養塩循環機構の解明, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol.68, No.4, pp.721-726, 2012.
- 7) Nakayama K., A. Abuliz, T. Nakaegawa and Y. Maruya : Evaluation of nutrient flux from Shiretoko into the ocean using MRI-GCM, Hydrological Research Letters, Vol.5, pp.47-51, 2011, DOI: 10.3178/HRL.5.47.
- 8) 飯泉仁之直, 西森基貴, 石郷岡康史, 横沢正幸: 統計的ダウンスケーリングによる気候変化シナリオ作成入門, 農業気象, 第66 (2) 巻, pp.131-143, 2010.
- 9) 渡部哲史, 沖大幹, 鼎信次郎: 気候変動下での全球水資源量評価に向けた気候モデル出力値補正手法の開発と検証, 水工学論文集, 第54巻, pp.259-264, 2010.
- 10) Nakayama K., Y. Maruya, T. Nakaegawa, K. Komai, K. Kokubo, T. Ishida and T. Okada : Projection of “strong wind” events related to recovery from hypoxia in Tokyo Bay, Japan, Hydrological Processes, 2013, DOI: 10.1002/hyp.9829.