

気候変動に伴う海面上昇を考慮した 新釧路川への塩水遡上影響

釧路開発建設部 治水課 ○稲垣 達弘
鈴木 優一
市川 嘉輝

近年、気候変動に伴う大雨の頻度増加や台風の激化に伴う水害・土砂災害の頻発、降雨変動幅の拡大による渇水被害の深刻化、海面上昇に伴う高潮災害・海岸侵食の激甚化、塩水遡上域の拡大による利水・環境影響などが懸念されている。本報告では、上記の課題のうち特に地球温暖化に伴う海面上昇による塩水遡上域の拡大が環境面に及ぼす影響に着目し、傑出した自然環境を有する釧路湿原を背後地に抱える新釧路川河口域における塩水遡上が、淡水性の動植物に及ぼす影響評価について、耐塩性試験及び塩水遡上解析により検討した結果を報告する。

キーワード：釧路湿原、気候変動、海面上昇、塩水遡上、三次元環境流体モデル（Fantom3D）、地下水流動モデル（SEAWAT）

1. はじめに

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）は、2007年に発表した第4次評価報告書において、世界平均気温の上昇、北極の氷及び山岳氷河などの広範囲にわたる減少、世界平均海面水位の上昇が観測され、今や地球が温暖化していることが明らかであると断定しており、最悪のシナリオでは、気候変動に伴い21世紀末には世界平均気温が4℃上昇し、世界平均海面水位が最大0.59m上昇するという予測値が示されている¹⁾²⁾。なお、検討のシナリオは上記とは異なるが、気象庁による日本近海を対象とした予測も行われており、釧路沖については海面水位が0.11m上昇するという予測値が示されている³⁾。

また、生物多様性国家戦略2012-2020（平成24年9月28日閣議決定）において、「①開発など人間活動による危機」、「②自然に対する働きかけの縮小による危機」、「③人間により持ち込まれたものによる危機」の3つの危機に加えて、「④地球環境の変化による危機」が位置付けられており、生物多様性の観点からも気候変動への対応が重要な課題となっている。

ここで、気候変動に伴う影響としては、例えば、大雨の頻度増加や台風の激化に伴う水害・土砂災害の頻発、降雨変動幅の拡大による渇水被害の深刻化、海面上昇に伴う高潮災害・海岸侵食の激甚化、塩水遡上域の拡大による利水・環境影響などが挙げられる。

上記の内、本報告では海面上昇に伴う塩水遡上域の拡大に着目し、環境面への影響が特に大きいと考えられる領域として、河口域に隣接し、かつ重要な生態系システムを有する釧路湿原域を対象フィールドとした。

2. 釧路湿原の概要と塩水遡上観測

釧路湿原はラムサール登録湿地であり、日本最大の湿地面積（220.7km²）を誇る。釧路湿原を流域に抱える釧路川は、阿寒国立公園の屈斜路湖に端を発し、KP35.0～KP5.0の約30kmにわたって釧路湿原内を流下し、釧路湿原内の岩保木地点（KP11.0）において新釧路川となり、釧路市街地を貫流し太平洋に注ぐ幹川流路延長154km、流域面積2,510km²の一級河川である。

新釧路川の平水流量（岩保木観測所）は、35m³/s～55m³/s程度であり、平常時には下流域の水面勾配が小さ



図-1 検討対象領域周辺の平面図

いため、岩保木観測所まで潮位変動の影響を受ける河川であり、大潮時の潮位変動量（1.5m程度）と感潮区間長（11km程度）の関係から塩水が遡上する際には、緩混合型の形態で遡上するものと判定される⁴⁾。

一方、これまでに新釧路川を対象として塩水遡上に関する調査を実施した実績が無かったことから、平成21年～22年の2ヶ年にわたって、塩分濃度の自記観測を実施した。観測結果を図-2に示すが、KP0.0付近まで高濃度の塩水が遡上する状況は確認されたが、それより上流ではほとんど塩分は観測されず、河口部に堆積した砂州が阻害要因となり、新釧路川は現状では頻りに塩水が遡上する河川ではないことが明らかとなった⁵⁾。

しかし、今後地球温暖化に伴う海面上昇により塩水遡上区間が延伸し、塩水遡上域が釧路湿原領域に達する可能性が考えられ、塩水が遡上しない現在の環境に適応している淡水性の動植物に対して大きなインパクトになることが想定される。そのため、本報告では特に植生に着目し、まずは現存植生の耐塩性を把握し、その後将来の影響評価を実施するものとした。

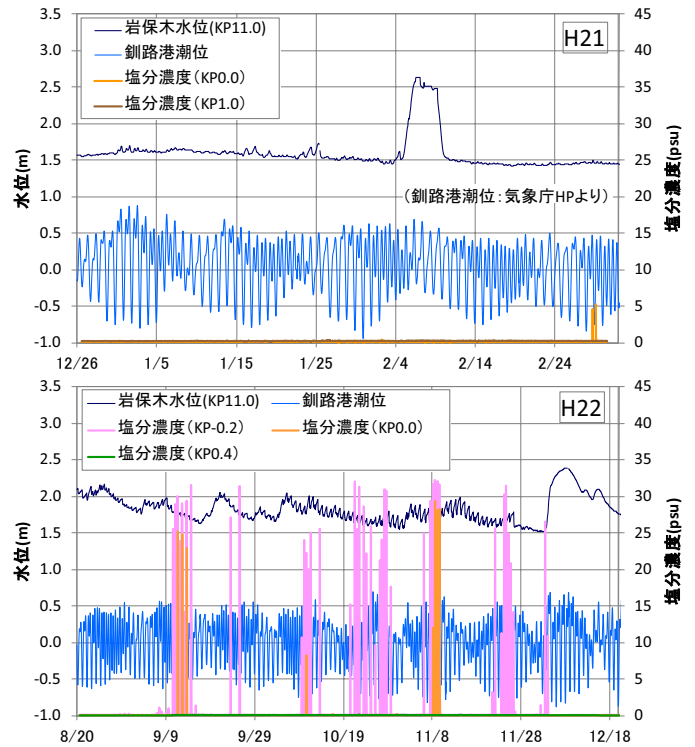


図-2 塩分濃度自記観測結果

3. 耐塩性試験

(1) 試験対象種の選定

耐塩性試験を実施するにあたり、将来の塩水遡上の影響が想定される河道内及び河岸に分布し、河川及び湿原環境を構成している植生の主要な優占種として、①ミクリ、②エゾミクリ、③ヨシ、④イワノガリヤス、⑤クサヨシ、⑥オオヨモギの6種を選定した（表-1）。

(2) 試験方法

試験は、活性低下等の塩分濃度以外の影響因子を排除するため温室内で実施し、根系ごとに掘り取ったサンプルをバット等の容器に収め、塩水を給水して暴露させた。なお、塩分濃度は0（淡水）、5、10、20、34（海水）psuの5ケースで実施した。また、陸生植物の注水高さは概ねポット高の3/4程度（過湿に弱いオオヨモギは1/4程度）とし、水生植物は現地の生育状況と同様に冠水させて実施した。モニタリング項目としては、活性度等の定性的なデータに加えて、計測器（葉緑素計）による定量的なデータの記録も行った。

(3) 試験結果

試験結果の抜粋を図-3に示すが、河道内の対象種では、エゾミクリ、ミクリの耐塩性が低く、枯損速度が速いことから短時間の塩水遡上でも影響が生じることが明らかとなった。また、河岸部の対象種では、ヨシやクサヨシの耐塩性が高いことが明らかとなった。全体的には10psu以上の塩分濃度で影響が顕著となり、5psu以下では序々に進行する傾向が見られた。

上記の結果より、将来的に気候変動に伴う海面上昇に

表-1 実験の対象植物と選定理由

区域	種名	生活型	環境	選定理由
河道内 (水中)	エゾミクリ	水生植物 (沈水～抽水)	湖沼 流水	緩流部水際や流水中によく見られる重要種
	ミクリ	水生植物 (抽水)	湖沼 小川	緩流部水際によく見られる重要種
河岸 (水際～ 高水敷)	ヨシ	水生植物 (抽水)～ 陸生植物	河原 湖沼 湿原	低層湿原(イワノガリヤス- ヨシ群落)等の優占種
	イワノガリヤス	陸生植物	草地 湿原	低層湿原(イワノガリヤス- ヨシ群落)等の優占種
	クサヨシ	水生植物 (抽水)～ 陸生植物	草地 湿原	湿生草地(セリクサヨシ群 落)等の優占種
	オオヨモギ	陸生植物	平地 山地	上記選定種に準じた生育 量であり草地の代表的な キク科植物

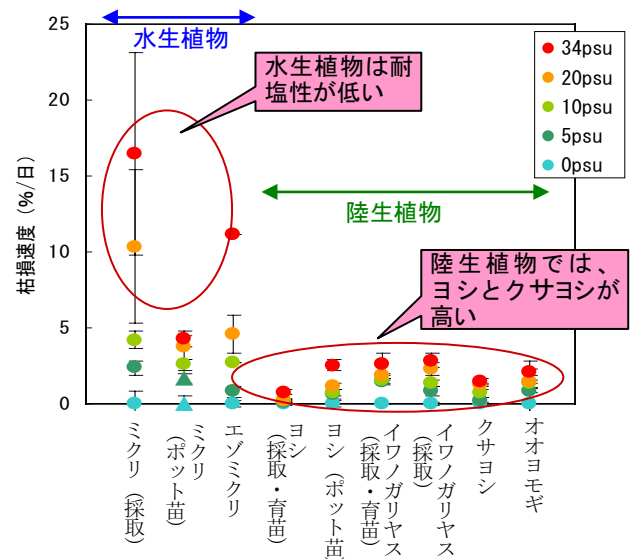


図-3 耐塩性試験結果の抜粋（種別の平均枯損速度）

より河道内の塩水遡上及び塩水遡上に伴う地下水への塩水侵入が発生した場合には、生息位置及び種別の耐塩性に応じて図-4 に示すような影響が生じるものと考えられる。そのため、気候変動に伴う海面上昇が湿原環境に及ぼす影響を把握するためには、まず河道内の塩水遡上が延伸する範囲を明確にし、塩水遡上に伴う地下水への塩水侵入範囲を推定することで、現存植生に影響が及ぶ範囲を明確にすることが重要であると考えられる。

4. 海面上昇に伴う塩水遡上の予測

(1) 解析モデルの概要と計算条件

本検討では、河道内の塩水遡上の将来予測を行うモデルとして、過去の報告⁵⁾⁶⁾において本水域や同じ道東域に位置する網走川における塩水遡上解析により結果の妥当性について確認されているFantom3Dを採用した。3次元環境流体モデルであるFantom3Dは、オブジェクト指向に基づいており、計算スキームの切り替えを容易に行う事が可能であることが最大の特徴となっている。なお、オブジェクト指向に関する詳細については参考文献⁷⁾をご参照いただきたい。計算条件を表-2 に示すが、計算に当たってはオブジェクト指向の特徴を活かすため計算領域を13のドメインに分割し、8CPUを利用した並列計算により計算時間の短縮を図った。

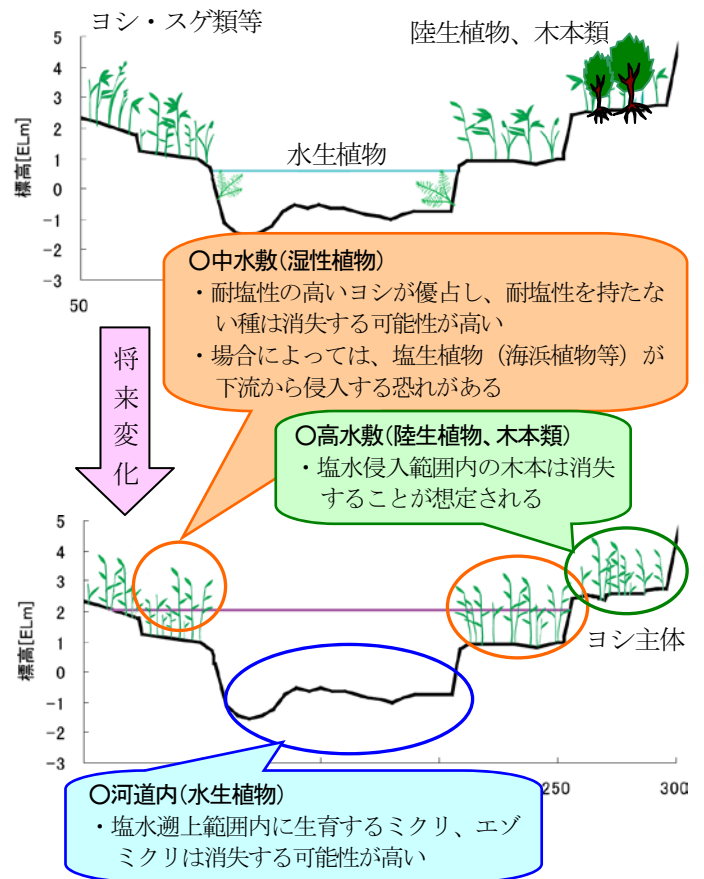


図-4 耐塩性試験を踏まえた植生の将来変化

表-2 塩水遡上解析の計算条件一覧

項目	設定値	設定根拠	
計算延長	河口～KP12.0	海面上昇後の感潮域を計算対象区間として設定	
上流境界条件	流量(定常) 本川Q=24.50m ³ /s 支川Q=7.40m ³ /s (合流後Q=31.90m ³ /s)	危険側の条件として広里地点における1/10濁水流量(3位/30年)を採用 上流端境界に与える本川Qと支川Qは流域面積比により配分 (広里A=2172.1km ² 、本川A=1668.0km ² 、支川A=504.1km ² で設定)	
	塩分	淡水の塩分濃度	
	水温	8.9℃	水質自動監視装置により測定された河川水温(瀬文平橋)の年平均値
下流境界条件	潮位(非定常) Case1(現況): Max 0.92m Case2: Max 1.07m Case3: Max 1.22m Case4: Max 1.37m Case5: Max 1.52m Case6: Max 1.82m Case7: Max 2.12m Case8(将来): Max 2.44m	気象庁HPで収集可能な釧路港天文潮位の収集期間最大値 Case1+0.15m Case1+0.30m Case1+0.45m Case1+0.60m Case1+0.90m Case1+1.20m Case1+1.52m [内訳: IPCC 予測値(+0.59m) + 気象偏差(+0.93m: H18.10.8)]	
	塩分	34.0psu	海水の塩分濃度
	水温	8.3℃	公開されている釧路港表層水温(函館海洋気象台HPより)の年平均値
	地形条件	主にH21測量河床	最新の測量成果を採用、並列計算を行うため13のドメインに分割 (メッシュサイズ: 横断方向10m間隔、縦断方向10m間隔、鉛直方向0.2m間隔)

※解析に用いる潮位は、Case1(現況)を天文潮位とし、Case8(将来)で海面上昇に加えて潮位偏差を考慮

(2) 計算結果

塩水遡上解析結果を図-5 に示す。現況の潮位条件を用いて危険側の河川流量を設定した場合 (Case1)、20psu 程度の高濃度の塩水は KP4.0 付近まで遡上し、10psu 程度まで希釈された塩水は更に上流の KP5.4 付近まで遡上する結果が得られた。ただし、低潮位時には、KP1.0 付近の深みに若干の残留塩分を残すものの、塩水は河川水によりほぼ全量押し戻される結果が得られた。

一方、将来の海面上昇に伴う気象偏差による潮位上昇を見込んだ最も危険側のケース (Case8) では、20psu 程度の高濃度の塩水は KP9.4 付近まで遡上し、10psu 程度まで希釈された塩水は KP9.7 付近まで遡上する結果が得られ、低潮位時においても KP5.5 付近より下流域は塩水が滞留し、恒常的に塩水に暴露される環境となる結果が得られ、気候変動に伴う海面上昇により、塩水遡上域に大きな変化が生じる事が明らかとなった。

5. 地下水への塩水侵入範囲の予測

(1) 解析モデルの概要と解析条件

前述の海面上昇に伴う塩水遡上の予測計算結果を踏まえた地下水への塩水侵入範囲の検討を行うに当たり、地下水への塩水侵入は塩水遡上解析により予測された塩淡水境界面の他に河川水位や地下水位により複雑に変化することから、本検討では河川水位及び地下水位が観測されている KP7.4 (広里観測所地点) をモデル断面として設定し、モデル断面を対象に地下水への塩水侵入範囲の解析を実施した。次に、モデル断面地点で推定した塩水侵入横断範囲を塩水遡上が想定される上下流へ拡張し平面的な塩水侵入範囲を推定するものとした。

実際の計算にあたっては、地下水の流れとともに塩分の輸送過程における移流分散現象を考慮する必要があり、地下水流動及び物質の移流分散現象を解析するモデルとして、米国地質調査所 (USGS) により開発された SEAWAT を使用し、断面二次元の地下水への塩水侵入範囲の予測を行うものとした。計算条件を表-3 に示す。

表-3 地下水への塩水侵入範囲の解析条件

項目	設定値、設定根拠	
計算延長	横断方向	河岸肩から300mで設定
	鉛直方向	23m: 難透水層であるAc層の位置
境界条件	河川水位	塩水遡上解析による河川水位
	地下水位	河岸肩から300m地点の地下水位 (上記の河川水位と実測値の按分値)
	塩淡水境界	塩水遡上解析による塩淡水境界面 (20psu)
地質条件	透水係数	10^{-6} m/s: As層の透水係数
	有効間隙率	30%: 砂層の一般的な間隙率
	比貯留係数	0.3m^{-1} : 不圧地下水を対象 (=有効間隙率)
分散長	縦方向	3.0m: 観測規模100m程度の縦分散長
	横方向	0.3m: 縦分散長の1/10
分子拡散係数	$20.3 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$: Cl ⁻ の分子拡散係数	

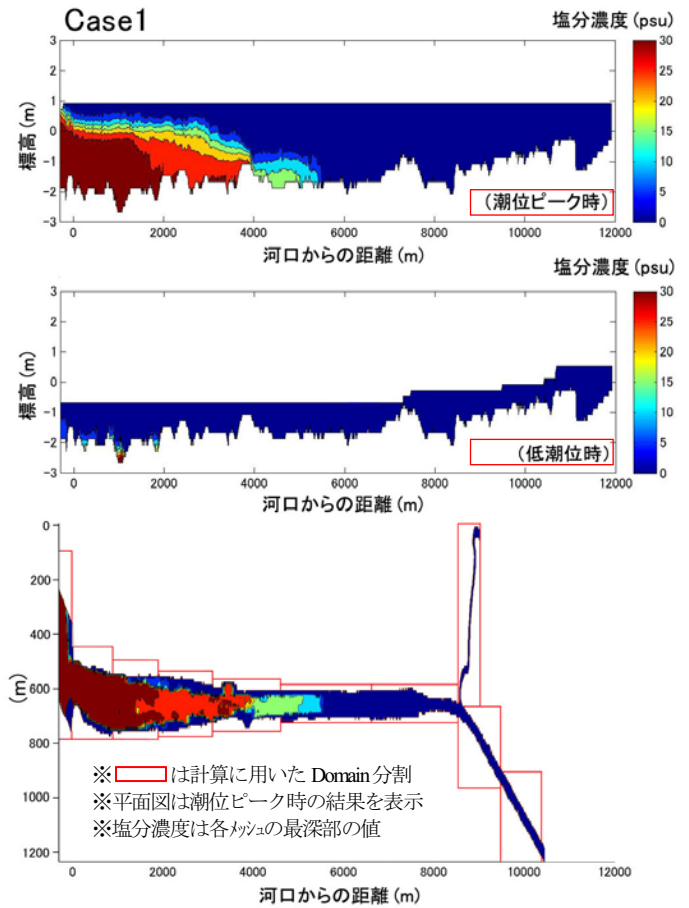


図-5(1) 塩水遡上解析結果 (Case1: 現況)

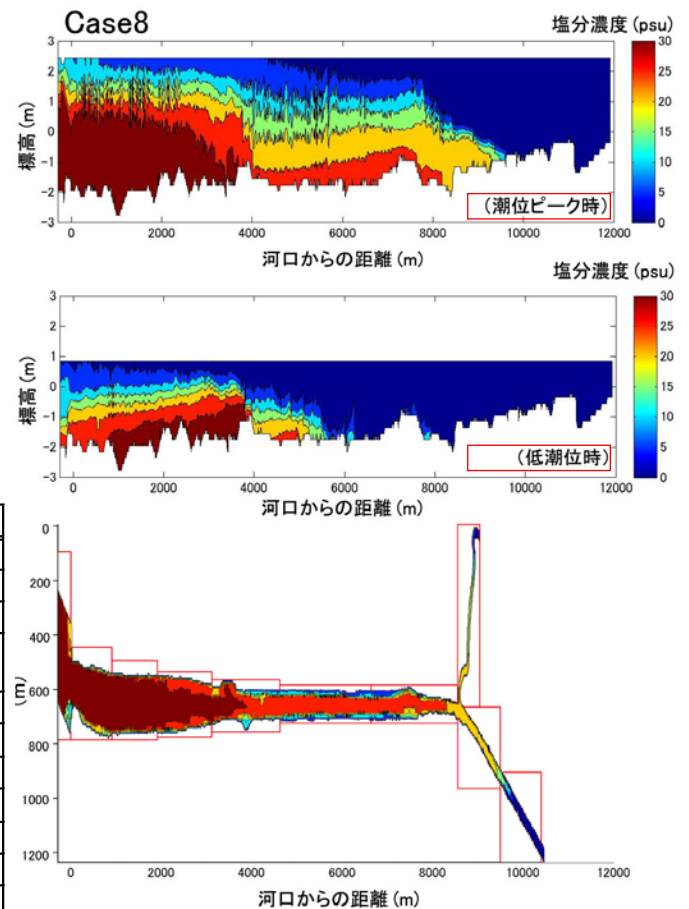


図-5(2) 塩水遡上解析結果 (Case8: 危険側予測)

(2) 解析結果

地下水への塩水侵入範囲は、深度が深くなるにつれて範囲が拡大する傾向が見られるが、本検討では現存する動植物への影響評価を目的としていることから、表層付近の塩水侵入範囲を抽出することとした。

将来の海面上昇に気象偏差による潮位上昇を見込んだ最も危険側のケース（Case8）における地下水への塩水侵入範囲を図-6 に示すが、左岸では河岸から約 70m、右岸では河岸から約 40m 程度の範囲で塩水が侵入するものと推定された。ここで、右岸と比べて左岸側で侵入範囲が大きくなるのは、地下水の水面勾配が小さいためである。

次に、モデル断面における解析結果を平面的な侵入範囲に拡張するために、塩淡境界位置を変化させることで塩水侵入範囲に変化が見られるかどうかの検討を実施した。その結果、解析対象深度の 23m に対して、塩淡境界の変動幅のオーダーが小さいため、低水路近傍の塩分濃度には若干の変化は生じるものの、表層付近の地下水への塩水侵入範囲にはほとんど変化が見られない結果が得られた。以上より、気候変動に伴う海面上昇により、新釧路川においては河道内および高水敷内において塩水の影響が生じる恐れがあることが想定された（図-7）。

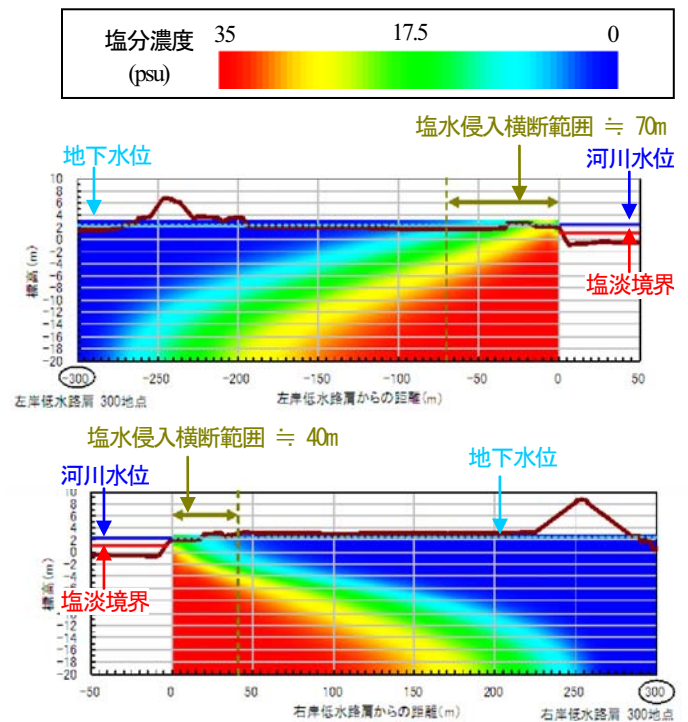


図-6 モデル断面における地下水への塩水侵入解析結果
(上段：左岸、下段：右岸)

6. 予測結果を踏まえた影響評価

(1) 植生への影響評価

海面上昇により予想される塩水侵入範囲を植生図に重ね合わせ、塩水侵入範囲内に分布する主要な群落について将来の影響評価を行った（図-7）。

塩水侵入範囲内に含まれる代表的な群落の内、海浜植物であるハマニシク群落については、塩分耐性を持つため基本的には維持され、上流域に分布域を拡大していくことが想定される。

草本類については、現状においてもヨシやクサヨシを主体とした群落で構成されているが、塩水侵入範囲の拡大に伴い塩分耐性を持たない種は淘汰され、ヨシやクサヨシの構成比率が更に大きくなるものと推定される。

木本類については、基本的に塩分耐性を持たないため、塩水侵入範囲内では消失するものと想定され、ホザキシモツケ等の景観構成に主要な種がヨシやクサヨシからなる単調な景観に変遷していくものと考えられる。

また、新釧路川では KP1.0～KP11.0 の範囲において多くの水生植物が確認されているが、この内ミクリやエゾミクリは耐塩性試験により塩分耐性が低いことが明らかとなっており、塩水遡上範囲の拡大に伴い消失するものと考えられる。なお、ミクリ、エゾミクリは、他の種よりも早い段階で影響が顕著に表れることが想定されるため、生息状況を監視することにより塩水遡上影響の有無を把握できるものと考えられる。



図-7 塩水侵入範囲と植生分布

(2) その他の影響評価

①魚類への影響

塩水遡上範囲で確認されている魚類重要種（漁業資源であるサケ・マス類を含む）は 6 科 16 種となっている。

確認された重要種の多くは遡河回遊魚等の回遊魚であり、生活史の一時期を海水域で生息する種であることから、これらの種に対しては塩分環境の変化による影響は小さいものと推察される。一方、淡水魚（フナ、コイ等）を考えた場合、水生植物が消失することにより餌場や隠れ場所が失われることで生息環境が縮小することが想定される。また、海に生息する種（キュウリウオ、チカ、コマイ等）が新釧路川でも見られ、淡水魚が上流域に追いやられるなど、現存する魚種の生息環境に変化が生じることが想定される。その他、特筆すべき環境として、シシャモの産卵床が確認されており、その他の魚種も含めて魚類の産卵環境に影響が生じる可能性がある。

②鳥類

塩水侵入範囲で確認されている鳥類重要種は、オオワシ、タンチョウの 2 種であり、カワアイサ、アオサギ、オオハクチョウ等も確認されている。

一般に、河川汽水域には豊富な魚類が生息していることから、河川の塩分環境の変化が動物食の鳥類の生息環境に及ぼす影響は小さいものと考えられる。一方、植物食の鳥類を考えた場合、新釧路川は水草が河岸に繁茂している程度であり餌場環境は限定されているものの、河川への塩水遡上により水生植物が消失することで、現存の生息環境に間接的な影響を与える可能性が考えられる。

③両生類

塩水侵入範囲で確認された両生類重要種はキタサンシヨウウオ 1 種であり、エゾアカガエルも確認されている。

一般的にキタサンシヨウウオ等の両生類は、皮膚呼吸のため塩分耐性が弱いと考えられ、河川への塩水遡上や地下水への塩水侵入範囲では、産卵環境や生育環境が悪化して生息域の変化が考えられる。

④利水

新釧路川では、塩水遡上範囲となる河口～KP9.7 の範囲内の 4 箇所河川水が利用されており、将来的に河川への塩水遡上範囲が延伸した場合には、河川水の利用に対して影響が考えられる。

7. おわりに

本検討では、地球温暖化に伴う海面上昇による新釧路川の塩水遡上形態の変化に着目した環境影響に関する将来評価を実施し、以下の結論を得た。

(1) 気候変動に伴う海面上昇量は、最悪のシナリオで 0.59m 上昇するとされており、気象偏差を加味した最

大のケースでは潮位変動に応じて KP9.7 付近まで塩水が遡上し、地下水への塩水侵入範囲は左岸側で河岸から 70m、右岸側で河岸から 40m 程度となることが推定された。

- (2) 塩水侵入範囲は高水敷内に限定されるものの、耐塩性試験により得られた知見から、現存植生は耐塩性の高いヨシ・クサヨシを主体とした群落構成に遷移し、将来的に単調な景観となることが推定された。
- (3) 河道内では、ミクリやエゾミクリ等の耐塩性の低い種が消失することが推定され、これらの種の生息状況を監視することにより塩水遡上影響の有無を把握できる可能性が示唆された。
- (4) 上記植生への影響に加えて、魚類、鳥類、両性類、利水に対して、直接的・間接的影響が生じることが推定された。

謝辞

本検討を実施するに当たり、北見工業大学の中山教授には、検討初年度から検討手順や検討成果の妥当性についてご指導をいただきました。また、首都大学東京の新谷助教には、塩水遡上解析モデル（Fantom3D）を提供していただきました。更に、北海道教育大学釧路校の神田教授には、耐塩性試験の方法や試験結果の妥当性についてご指導をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds): Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007
- 2) Dutta, D., M.S. Babel and A. Das Gupta (2005): An Assessment of the Socio-Economic Impacts of Floods in Large Coastal Areas, Final Report for APN CAPaBLE Project, 2004-CB01NSY-Dutta, Asian Institute of Technology, ISBN 974-93908-0-6, 205 p., 2005
- 3) 気象庁：IPCC 温室効果ガス排出シナリオ A1B および B1 による日本の気候変化予測，地球温暖化予測情報第 7 巻，2008
- 4) 土木学会，水理公式集[平成 11 年度版]，pp.556-557，1999
- 5) 中山恵介，佐久間慎雄，新谷哲也，中本篤嗣，山村論：釧路湿原への塩水遡上に関する調査と検討，海洋開発論文集，第 26 巻，pp.789-794，2010
- 6) Maruya Y., K. Nakayama, T. Shintani and M. Yonemoto: Evaluation of entrainment velocity induced by wind stress in a two-layer system, Hydrological Research Letters, Vol. 4, pp.70-74, 2010, doi:10.3178/hrl.4.70.
- 7) 新谷哲也，中山恵介：環境流体解析を目的としたオブジェクト指向型流体モデルの開発と検証，水工学論文集，第 53 巻，pp.1267-1272，2009