

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：32658

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00628

研究課題名(和文)文理融合による湿地生態系サービス価値の経済評価に関する研究

研究課題名(英文)Economic Valuation of the Wetland Ecosystem Services

研究代表者

笹木 潤 (SASAKI, Jun)

東京農業大学・生物産業学部・准教授

研究者番号：00339087

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：ラムサール登録湿地において、植物から動物まで網羅的に調べ、そこで生産される海産物の食品特性にも目を向けて、湿地が有する生態系サービスの価値を経済的に評価した。具体的には4課題を設定しそれぞれグループで分担して研究を遂行した(G1～G4)。G1は、湿地周辺の土地利用を踏まえつつ湿地に流入する河川水質の特性を把握し、湿地固有に発達した生物相を評価した。G2は、流入した栄養塩類の特性が湿地の生態系機能にどのような影響をもたらしているかを明らかにした。G3は、湿地の生態系機能を背景とする水産物の生育環境の特徴による水産物の食品特性を解明した。G4は湿地が有する生態系サービスの価値を経済的に評価した。

研究成果の概要(英文)：The aimed of this study, for the wetlands of the Tofutsu Lake and Mokoto Lake in Hokkaido, JAPAN, was to investigate the ecology of fish, to observe the habits of the plant in each its drainage basin, to analysis of food characteristics of a bivalve aquaculture. Then assessed the economic valuation of the wetland ecosystem services of these lakes. In particular, 1) Based on land use around wetlands, we grasped the characteristics of river water flowing into wetlands and evaluated the biota that developed inherently in wetlands. 2) We clarified how the characteristics of influent nutrients are affecting the ecosystem function of wetlands. 3) We elucidated the food characteristics of shellfishes which products due to the characteristics of the habitat environment of marine products with the ecosystem function of wetlands as background. 4) we assessed the economic values of the ecosystem services of those wetlands.

研究分野：農業経済学

キーワード：生態系サービス

1. 研究開始当初の背景

生物多様性総合評価（環境省, 2011）によれば、わが国の生物多様性の損失は全ての生態系に及んでおり、現在も損失は続いている。特に湿地は人間活動と比較的接近したことから、住宅地や農地として埋め立てられることが多く、著しく面積が減少している。国内有数の自然を有している北海道でさえ過去100年間で60%以上の湿地面積が失われたことが国土地理院の分析によって明らかとなっている。湿地は、水質浄化や水循環を調整する重要な機能を持つとともに、陸と水辺との接点に位置することから多様な動植物の生育・生息地となっている。また、豊かな水資源を提供するなど、地域の産業・歴史・文化と相互に密接に関連している。生物多様性にとっても人間活動にとっても極めて重要な生態系である湿地の消失は、そこから提供される有形無形の多くの恵みを失うことにつながるのである。近年我が国においても湿地やその生態系の保全に対する関心は高まってきている。しかし、自然科学的アプローチでも社会科学的方法でも、湿地が提供する豊かな恵みを表面化させることは困難である。そのため、湿地のもつ価値をわかりやすく示す方法が必要とされている。つまり、価値の可視化である。価値の可視化について、現在世界で注目されている手法は、TEEB（生態系と生物多様性の経済学）による、生態系サービスの枠組みによる経済評価手法である。生態系から提供される有形無形の恵みを金銭という比較的日常生活に馴染みのある指標で評価することができる。湿地が提供する価値の社会的認識を高めるという課題（今井他, 2013）に対して「わかりやすさ」という点で、生態系サービスの枠組みによる湿地の経済的な価値評価は有用であろう。ただし、湿地の有する価値を正しく認識するためには、湿地独自に発達した生物相を評価する必要がある。また、それに依拠する湿地の生態系機能や漁獲される水産物の食品特性に対しても付加価値として評価する必要がある。人間活動と生態系が相互依存の関係にある以上、湿地が有する生態系サービスの価値評価には、自然科学系と社会科学系の知見を結合した文理融合の研究体制が必要である。

2. 研究の目的

湿地の保全には、湿地が提供する価値を「わかりやすく」伝え、社会的認識を高める課題がある。この根幹的原因は文理融合型の研究の乏しさにある。本研究では、生態系サービスの枠組みによる湿地価値の可視化を試みる。生態系サービスという枠組みは文理融合を可能にする。ラムサール登録湿地において、植物から動物まで網羅的に調べ、そこから生産される海産物の食品特性にも目を向けて、湿地が有する生態系サービスの価値を経済的に評価する。

3. 研究の方法

本研究の目的を達成するため4課題を設定し、それぞれグループで分担して研究を遂行する（G1～G4）。G1は、湿地周辺の土地利用を踏まえつつ湿地に流入する河川水質の特性を把握し、湿地固有に発達した生物相を評価する。G2は、流入した栄養塩類の特性が湿地の生態系機能にどのような影響をもたらしているかを明らかにする。G3は、湿地の生態系機能を背景とする水産物の生育環境の特徴による水産物の食品特性を解明する。G4は湿地が有する生態系サービスの価値を経済的に評価する。

4. 研究成果

[G1]分析対象であるトウフツ湖と藻琴湖の流域土地利用をGISによって解析した。はじめにラスタ演算によってトウフツ湖流域を5つの河川（丸万川、浦土別川、ウカルシュベツ川、オムニナイ川、オンネナイ川）、藻琴湖流域を藻琴川で把握した。38年間という長期で見るとトウフツ湖流域では森林面積が38%減少、農地面積は51%増加したことがわかった。藻琴湖流域では森林、農地面積がそれぞれ4%、0.25%増加したことがわかった。なお、両流域ともにここ数年においては土地利用に大きな変動はないことが明らかになった。流入河川水質の調査結果からは、藻琴川は栄養塩類特に窒素成分と濁度が浦土別川より高い傾向にあることが明らかになった。一方の浦土別川ではCODに指標される有機物量が藻琴川より高い傾向にあった。以上の河川水質の傾向は、流域での農畜産業や土地利用の違いに強く影響されると考えられた。また、調査期間を通じて確認された魚類はトウフツ湖で37種、藻琴湖で27種、底生動物はトウフツ湖で28種、藻琴湖で47種であった。魚類群集を比較すると、トウフツ湖で種数が多いのは海と連絡する湖口付近のみであることから、潮汐に伴う一過性の魚種が多いことに起因すると考えられる。トウフツ湖は東西に長く浅い湖盆形状に応じて空間的に広い塩分傾度環境が形成され、湖盆の主要部には汽水性、回遊性の少数種からなる魚類群集が形成されていた。ワカサギやウグイ類など構成種は密度も高く生物量も多いと推測された。一方、藻琴湖はトウフツ湖の約1/9サイズであるが、流域面積/湖沼面積比は約10倍で河川流域の影響を強く受けやすい。また、水深はトウフツ湖より深いため、鉛直方向に塩分傾度が強固に発達して成層するために底層水は貧酸素化しやすい。したがって、底層水が貧酸素化する夏から秋は魚類の生息空間は表層に狭められることになる。藻琴湖では総種数はトウフツ湖より少ないものの、年間の平均的種多様性はトウフツ湖より高く、栄養段階もトウフツ湖より比較的高い傾向が見られた。水温は、トウフツ湖および藻琴湖ともに春季から夏季に向かっ

て上昇し、8月あるいは9月以降冬季に向かって低下する変動を示し、定点間で変動様式の違いはみられなかった。塩分の季節変動と経年変動については、湖間で違いがみられた。トウフツ湖では塩分は湖口に近い測点で最も高く、海水の影響が強いことが明らかとなった。また、最も湖口から遠い測点の塩分は最も低く、河川水の影響が強いことが明らかとなった。湖口に近い測点では、春季から夏季にかけて高温高塩分の宗谷暖流水の流入の影響がみられるが、2016年では宗谷暖流水の影響が2017年よりも早く現れた。また、両年ともに初冬季には低温低塩分の東樺太海流水が湖内に流入している可能性が示唆された。藻琴湖では、湖中央の深層では春季から夏季にかけて宗谷暖流水の流入が、初冬季には東樺太海流水の流入の影響がみられたが、2016年の表層では夏季の塩分は低く、降雨量増加による河川水の影響が強かった可能性が考えられた。トウフツ湖のクロロフィルa濃度は、年平均値でみると両年共に河川水の影響が強い最も湖口から遠い測点で最も高く、海水の影響が最も強い測点で最も低くなることが明らかとなった。2016年では春季から夏季にかけて安定して高密度となる傾向を示した。春季から夏季にかけての栄養塩類の組成(N/P比)は、湖口から遠い測点では植物プランクトンの増殖に適した組成比(N/P比=16)に近かった。藻琴湖の8月の湖奥の定点では、栄養塩濃度が著しく上昇した。このとき塩分も著しく低下したことから、河川水量の増加によって湖内に栄養塩が供給されることが明らかとなった。これらの結果は、河川水の流入による栄養塩類の供給が湖内の植物プランクトンの生産に影響することを示唆する結果を得られた。

[G2]トウフツ湖畔に分布するヨシ群落の単位面積あたりの平均シュート密度は 62.4 ± 35.9 本/m²であったのに対し、藻琴湖畔の平均シュート密度は 82.1 ± 45.5 本/m²を示し、バラツキは大きいものの有意差が認められ藻琴湖畔の群落で約1.3倍高いシュート密度となった。草丈の平均値は、トウフツ湖畔で 184 ± 46 cm、藻琴湖畔では 178 ± 31 cmを示し、やや藻琴湖で低い値となった。これらのデータから算出した単位面積あたりのヨシ地上部純一次生産量はそれぞれ 0.74 ± 0.60 kg/m²・年、 0.77 ± 0.54 kg/m²・年となった。これらの傾向から、トウフツ湖畔と藻琴湖畔ではシュート密度と草丈にはやや相違が認められるものの、単位面積あたりの純一次生産量は両者でほぼ同レベルであることが示された。トウフツ湖畔と藻琴湖畔に分布するヨシ群落面積を画像処理によって求めたところ、それぞれ 1.97 km²/湖および 0.30 km²/湖となった。これらのヨシ群落面積と単位面積あたりの純一次生産量から算出された湖畔全体のヨシ群落純一次生産量は、トウフツ湖で 1449 t/年・湖、藻琴湖で 1449 t/年・湖となり、両者には6倍以上の違いが示された。トウフ

ツ湖畔より採取したサンプルから、シュートの窒素濃度と草丈との間には有意な関係式が算出されたが、リン濃度については草丈との間に有意な関係は認められなかった。したがって、各調査地点におけるヨシシュートの窒素濃度については草丈から推定し、リン濃度については平均濃度(0.070 mg P/g)を適用した。それらの推定値と純一次生産量から算出された単位面積あたりの窒素・リン吸収量は、いずれも藻琴湖畔のヨシ群落でやや高い値を示したが、窒素・リンともに両湖の間で有意差は認められなかった。しかし、湖全体での窒素・リン吸収量は湖面積・ヨシ群落面積が大きいトウフツ湖で明らかに高く、窒素・リンともに藻琴湖よりも6倍ほど高い値を示した。湖流入河川の合計流域面積はトウフツ湖・藻琴湖共に約 190 km²程度であることに加え、両流域では比較的類似した土地利用状況であることから、流域全体から受ける栄養塩類の負荷レベルは両湖でおおよそ同程度と想定される。分析の結果、流域末端に位置する湖の面積の違いによって、そうした栄養塩負荷の緩和程度(湖畔湿地による調整サービス)が大きく異なることが示唆された。湖面積・湖畔湿地面積の大きなトウフツ湖では、栄養塩類の吸収能が高く、結果として藻琴湖と比べはるかに高い経済的価値を有することが示唆された。またG1の研究成果より、藻琴湖での平均的種多様性の高さには湖のサイズ、海と湖間の移動のしやすさなどが、栄養段階の高さには魚類の重要な餌生物であるイサザアミの生息量が影響していると考えられた。イサザアミの生息量は藻琴湖よりトウフツ湖で高く、藻琴湖の魚類はイサザアミではなく小型ハゼ類などを補食する傾向が認められた。イサザアミはトウフツ湖では浅く広い湖盆に多量に繁茂するコアママや水生植物群落などを生息場所として高密度に生息しておりトウフツ湖の魚類の主要な餌生物になっている。しかし、藻琴湖では底層の貧酸素化や湖岸域に水生植物群落が発達せず隠れ家が少ないことが影響して低密度になっており、こうした湖沼環境の違いが食物連鎖構造の違いを生み出している可能性が考えられた。底生動物は、湖の浅い湖岸域全体に流入海水の影響を受けやすい藻琴湖で広塩性種が数多く採集されたことから種数が多い結果となった。しかし、藻琴湖では砂質底が湖岸縁の狭い範囲にしかなく、大部分が泥質底で占められており底層水が貧酸素する影響からも底生動物の生息空間は非常に限定されている現状にあった。トウフツ湖では、湖口から湖盆中央までの広い範囲で砂質底が発達する一方、湖奥まで好気的な泥底も広がり、特に平和橋を挟む浦士別川流入部と小清水町川の湖盆は泥底が発達していた。生息種は湖口付近に広塩性海産種、それより奥の主要部は高鹹性から貧鹹性汽水種からなる底生動物群集が形成されていた。トウフツ湖湖岸の砂泥質底には絶滅危惧

種であるタカホコシラトリが高密度に生息しているのが確認された。本種は底質表面のデトリタスなどを摂餌しており、トウフツ湖での沈降有機物や底質表面の微細藻類の多さなどが本種の高密度個体群の形成維持に関与していることが推察された。主要な漁獲対象となっている移植ヤマトシジミの食性分析から、藻琴湖、トウフツ湖の水中または底生の植物プランクトンと微細藻類が摂餌されているのが確認された。ヤマトシジミ軟体部の炭素・窒素安定同位体比分析の結果からも両湖沼の移植シジミにとって、水中または底生の植物プランクトンと微細藻類が主要な餌資源であることが示された一方、流域からの窒素負荷量の違いも示唆された。以上の結果から、湖盆形状、流入河川流域、海との連絡路などの地形形状と、それらの流入水が形成する汽水環境が湖沼生態系のベースを作る、流入河川からの栄養塩と有機物量には流域による違いがある、流入する栄養塩と有機物量は豊富な植物プランクトンや底生微細藻類、かつ微小サイズの様々な生物群集を支える一方、底層水の貧酸素化の原因となる、魚類と底生動物は高い基礎生産性をベースとした食物連鎖構造を作るが、その群集構造の特徴は ~ の影響を受けることから、汽水域という特徴に基づいた生産 - 空間共役性が食物網の規定要因となっていると考えられた。なお、2016年においては、藻琴湖およびトウフツ湖の最も河川水の影響が強い測点では、中小型の植物プランクトンが季節を通して優占したことから、トウフツ湖の海水の影響を受ける測点に比べて、栄養段階が多い、エネルギーと栄養の転送効率が悪い食物連鎖構造をしていたと考えられた。2017年においては、トウフツ湖の海水の影響の強い測点では夏季までは大型の植物プランクトンが優占する傾向があり、秋季以降中小型が優占することから、エネルギーの転送効率の良い食物連鎖構造から効率の悪い食物連鎖構造へ季節的に変動することを意味している。一方藻琴湖では、トウフツ湖とは逆の変動を示し、春季から夏季の転送効率の悪い食物連鎖構造から秋季以降の転送効率の良い食物連鎖構造へ変動する可能性が考えられた。食物連鎖構造は年によって変動する可能性が示された。このように栄養段階上位の魚介類の生残や成長、味などに湖間で異なり、また年によっても変動する可能性を意味する結果が得られた。

[G3] 2015年度、2016年度および2017年度のトウフツ湖産シジミの軟体指数は、それぞれ26.0、31.4および34.0%となった。一方、藻琴湖産シジミの軟体指数は、それぞれ28.1、32.0および25.8となった。トウフツ湖産シジミは、藻琴湖産シジミと比較して、年度ごとの軟体指数にばらつきが見られたが、この要因として、藻琴湖産シジミは、毎年度ごとに水揚げされるのに対し、トウフツ湖産シジミは毎年度ごとに水揚げされないこともあ

るためであることが推察された。また、平成27、28および29年度のトウフツ湖産牡蠣の軟体指数は29.3、30.5および36.5%となった。一方、藻琴湖産牡蠣の軟体指数は、それぞれ38.9、43.9および41.4%となった。藻琴湖産牡蠣は、トウフツ湖産牡蠣と比較して軟体指数が高く、身入りが良いことが明らかになった。貝殻に対して身がぎっしりと詰まった藻琴湖産牡蠣は、見た目が良好であり、消費者の商品価値を向上させていることが示唆された。2016年度、2017年度の両湖のシジミについて、2点識別試験法により官能評価したところ、甘味と旨味においてトウフツ湖産シジミは、藻琴湖産シジミと比較して有意に高得点を示した。一方、2点嗜好試験法により官能評価した場合は、2016年度では甘味と旨味において、トウフツ湖産シジミが有意に高得点を示したが、2017年度では甘味と外観において、トウフツ湖産シジミは、藻琴湖産シジミと比較して有意に高得点を示した。旨味においては有意な差は認められなかったが、トウフツ湖産シジミが藻琴湖産シジミよりも評価が高い傾向を示した。2016年度の両湖の牡蠣について、2点識別試験法により官能評価したところ、甘味、塩味および旨味において、藻琴湖産牡蠣は、トウフツ湖産シジミと比較して有意に高得点を示した。一方、2点嗜好試験法により官能評価した場合は、苦味において、藻琴湖産牡蠣は、トウフツ湖産牡蠣と比較して有意に高得点を示した。2点識別試験において、藻琴湖産牡蠣はトウフツ湖産牡蠣と比較して、苦味が低い傾向を示したことから、消費者には苦味の少ない牡蠣が好まれることが示唆された。一方、2017年度の牡蠣については、両湖の牡蠣の間に、識別型および嗜好型の官能評価試験においても、有意な差は認められなかった。2017年度の両湖のシジミについてアミノ酸分析に供したところ、旨味に關与するグルタミン酸、甘味に關与するグリシンおよびセリンにおいて、トウフツ湖産シジミの方が藻琴湖産シジミよりも、グルタミン酸では約1.2倍、グリシンでは約2.1倍、セリンでは1.4倍多く含まれており、先の識別型官能評価の結果を支持した。さらに両湖で採取した牡蠣およびシジミより煮汁を調製し、バイアル中に揮発する香気成分を比較した。その結果、牡蠣では藻琴湖産においてdimethyl sulfideや(Z, Z)-3, 5-octadieneといった磯を連想する香気成分が多く、その他の化合物についても同様であった。一方、シジミではトウフツ湖産において検出される成分が多く、(E, Z)-3, 6-octadiene等の炭化水素および1-octene-3-olといったアルコール類はトウフツ湖産のみで検出された。次に、煮汁中の香気成分をPorapak Qで捕集し、これをGC-0に供して香気検知できる成分を比較した。牡蠣では、藻琴湖産においてエステル類とラクトン類が検出されたのに対し、トウフツ湖産ではガン窒素化合物であるピロール類とピ

ラジン類のあることが特徴であった。シジミをみると、藻琴湖産において海苔やグリーン香を有する比較的分子量の化合物が特異的に検出された。一方、トウフツ湖産では藻琴湖産のそれよりも高分子量化合物の多いことが特徴であり、グリーン香のする化合物を比較しても、高分子量・高極性の物が多かった。以上の結果から両湖で水揚げされた牡蠣、シジミ煮汁の香気特性を評価すると、藻琴湖産の牡蠣はエステルやラクトン香から来る上品な風味が特徴で、トウフツ湖産は磯の風味とコクの強さが特徴になると考えられた。シジミに関しては、風味（磯臭）の強さは藻琴湖産で、コクの強さが特徴となるのがトウフツ湖産であることが推察された。

[G4]首都圏居住者600人を対象にインターネット調査をおこない、トウフツ湖で水揚げされる牡蠣に生態系を保全する認証表示するという仮想状況を設定し、回答者の選考から湿地が有する生態系サービス価値を評価した。生態系サービスを構成する供給サービス、調整サービス、社会的サービスに注目し、消費者の各サービスに対する相対的重要度をAHPからウェイトとして求めた結果、相対的重要度は供給サービス0.41、調整サービス0.40、社会的サービス0.19となり、供給サービスと調整サービスはほぼ同程度の重要度となった。ランダムパラメータ・ロジットモデルを適用した選択実験データの計測結果からは生態系サービス認証のパラメータは正となったことから回答者は生態系サービス認証を肯定的に評価していることが明らかになった。生態系サービス認証の評価額を計算すると60円となった。生態系サービス認証による生態系サービスの保全について肯定的に評価する回答者について、平均シフトパラメータを加えて計測した結果、水産物供給サービスが重要と考えている回答者と自然環境教育の場を提供するサービスが重要だと考えている回答者は生態系サービス認証に対して肯定的な評価をしていることが示された。また、アウトドアスポーツの場の提供が重要だと考えている回答者は生態系サービス認証に対して否定的な評価をしていることが示された。以上から、牡蠣を育む生態系サービスは消費者からも肯定的に評価され、これを保全する認証表示によって付加価値が高まることが示された。消費者への訴求においては、水産資源が豊かになること、自然について学ぶ機会が守られることに重点を置くことが重要であると示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

Kitamura, M., Nakagawa, Y., Nishino, Y., Segawa, S., Shiimoto, A. (2018) Comparison of the seasonal variability in abundance of the copepod *Pseudocalanus newmani* in

Lagoon Notoro-ko and a coastal area of the southwestern Okhotsk Sea. *Polar Science*, 15: 62-74. 査読有.

DOI: 10.1016/j.polar.2017.12.004

Nakamura T., Nakamura M. Root respiratory costs of ion uptake, root growth, and root maintenance in wetland plants: efficiency and strategy of O₂ use for adaptation to hypoxia. *Oecologia*. 182. 2016. 667-678. 査読有.

DOI: 10.1007/s00442-016-3691-5.

〔学会発表〕(計1件)

中村隆俊. 第10回大島賞受賞講演: 湿原植物の分布機構～広域的調査と生態生理学的アプローチによる統合的解釈～. 日本生態学会(招待講演). 2017年3月17日. 東京.

〔図書〕(計1件)

中村隆俊, 北海道大学出版会, 5章 湿原植物の窒素利用「湿地の科学と暮らし 北のウエットランド大全」(ウエットランドセミナー100回記念出版編集委員会編), 2017, 364p (45-54p).

6. 研究組織

(1)研究代表者

笹木 潤 (SASAKI, Jun)

東京農業大学・生物産業学部・准教授
研究者番号: 00339087

(2)研究分担者

中澤 洋三 (NAKAZAWA, Yozo)

東京農業大学・生物産業学部・准教授
研究者番号: 20341828

中川 至純 (NAKAGAWA, Yoshizumi)

東京農業大学・生物産業学部・教授
研究者番号: 70399111

園田 武 (SONODA, Takeshi)

東京農業大学・生物産業学部・准教授
研究者番号: 70424679

妙田 貴生 (MYODA, Takao)

東京農業大学・生物産業学部・教授
研究者番号: 80372986

中村 隆俊 (NAKAMURA, Takatoshi)

東京農業大学・生物産業学部・准教授
研究者番号: 80408658

岩本 博幸 (IWAMOTO, Hiroyuki)

東京農業大学・国際食料情報学部・准教授
研究者番号: 90377127