HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	海洋環境モニタリングとコンブ標本の窒素安定同位体比より推定する北海道日本海における栄養塩供給特性の歴史的評価［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	栗林, 貴範
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	甲第12490号
Issue Date	2016-12-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/64731
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Takanori_Kuribayashi_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士（環境科学）　　氏 名　栗 林 貴 範

学 位 論 文 題 名

海洋環境モニタリングとコンブ標本の窒素安定同位体比より推定する北海道日本海における栄養塩供給特性の歴史的評価

(Historical evaluation of nutrient supply characteristics of the Japan Sea off Hokkaido with the hydrographic monitoring and $\delta^{15}N$ records in paleo-*Saccharina* specimens)

北海道漁業は，我が国の食糧供給を担う基幹産業として古くより発展し，海面漁業・養殖漁業生産量および漁業生産額ともに全国第1位である。しかしながら，北海道日本海海域における近年の漁業生産は，ニシンやスケトウダラ，ホッケ等の主要水産資源の低迷により急速に悪化し，太平洋およびオホーツク海海域と比べて極めて低水準である。また，北海道日本海海域では近年磯焼けの進行が著しく，ウニ類やエゾアワビ等の磯根資源の生産低下が喫緊の課題となっている。このような日本海漁業の急速な悪化には，長期的な海洋環境変動との関連性が指摘されている。そのため，北海道日本海における栄養塩特性を時空間的に評価し，基礎生産との関連性を把握するとともに，生物生産や海洋生態系に及ぼす影響について明らかにする必要がある。しかしながら，極前線以北の日本側である北海道日本海の知見は極めて乏しく，海域全体像を把握できる情報とはなっていなかった。第２章では，北海道日本海で海洋環境モニタリングを実施し，本海域における栄養塩供給特性の現状を把握した。表層の栄養塩濃度は，一般的な亜寒帯および温帯域でみられる明瞭な季節変動を示したが，表層の年間最大値を示す冬季の栄養塩濃度は，太平洋やオホーツク海と比べて低く，生産性の低い海域であることが確認された。本海域を沿岸域と沖合域で比較すると，沿岸域の春季ブルーム時期は沖合域より早いが，表層への栄養塩供給規模（春季ブルーム規模）は沖合域より小さく，対馬暖流水および日本海固有水の分布が関与している可能性が推察された。本海域において，植物プランクトンおよびホソメコンブ生産を制限する栄養塩種は溶存態無機窒素（DIN）であり，沿岸域における冬季の表面硝酸態窒素（NO_3-N）濃度は，1990年代に減少傾向を，2000年代に増加傾向を示したが，過去30年弱でホソメコンブ配偶体の成長に必要な最低レベル（5μM）で推移した。鉛直混合や沖合からの移流は，沿岸域表層に多くの栄養塩を供給するが，窒素制限を解消せず，春季以降では水温律速に伴う春季ブルームの遅延化を引き起こす可能性が示唆された。また，日本海固有水の分布深度は，1988年以降で深化傾向を示し，それに伴う深層の昇温および栄養塩濃度の低下傾向が明らかにされた。日本海固有水の水質も一定の傾向で変動していることから，北海道日本海では，栄養塩が表層に供給されにくい状態が進行している可能性があり，陸水等の海水以外からの流入による栄養補給や施肥等による人為的な栄養強化が栄養塩不足および窒素制限を解消し，表層における栄養塩濃度および基礎生産の維持に寄与すると考えられた。

一方で，過去の日本海漁業は目を見張る繁栄であった。19世紀末から20世紀初頭（明治後期～大正期）にかけて，現在の500~1000倍におよぶ大量のニシンが漁獲され，1897年には97万tの最大漁獲量を記録した。また，ホソメコンブは20世紀初頭から前半（大正期～昭和初期）にかけて，現在の200倍におよぶ4,000t強が生産された。このような高い生物生産は，過去の北海道日本海に栄養塩が豊富に存在した可能性を示唆する。しかしながら，当時は海洋観測および分析技術が発展途上であり，本海域における過去の栄養塩環境を示す科学データは存在しなかった。第４章では，博物館に保存されている古コンブ標本に残された窒素安定同位体比（$\delta^{15}N$）を用いて，

北海道日本海における過去の栄養塩環境を推定した。その結果，本沿岸海域では，1881年から1920年にかけてニシン産卵群に由来する栄養塩が分布し，コンブの成長促進に寄与した可能性が示唆された。このことは，本海域における過去の栄養塩環境を示す一仮説「ニシンによる栄養輸送」を支持する初めて得られた科学的根拠である。また，沿岸海域における栄養塩供給機構において，生態系間を移動する生物による物質輸送の重要性を示唆し，本海域のような貧栄養海域への栄養塩インパクトは相対的に大きくなると考えられた。

なお，生物標本の長期保管では，腐敗や変質の影響を最小限に抑える目的で様々な保存方法が施される。そのため，標本中の体成分を環境指標として用いる場合，保存方法の違いによる体成分変化について検証する必要がある。第３章で検証された保存方法のうち，ホソメコンブの分析値への影響を最小限にする方法は，採取後速やかな定温乾燥保存および冷凍保存であると考えられた。第４章で用いたコンブ標本の保存方法（天日乾燥保存）は，時間の進行とともに安定した分析値を示したことから，分析値の補正により適用可能であると判断された。一方で，ホルマリンおよびエタノール保存は窒素分析に対して適用可能であり，冷蔵保存は炭素および窒素分析ともに適用できない方法であると考えられた。

第５章では，長期間蓄積された沿岸表面水温データと過去30年弱の水温－栄養塩濃度の関係を用いて，北海道南西部日本海沿岸海域における冬季の表層栄養塩濃度を過去100年スケールで推定した。その結果，1898年から2015年にかけて，NO_3-N濃度は7~8μM前後から4.5~6μM前後まで，溶存態無機リン（DIP）濃度は0.5~0.6μM前後から0.4~0.5μM前後まで，溶存態ケイ素（DSi）濃度は9μM前後から8μM前後まで低下した。過去118年間で三度の大きな栄養塩濃度の低下（1898年から1910年，1950年前後，1990年前後）がみられた。また，過去118年間で植物プランクトンおよびホソメコンブ生産への窒素制限は変わらないが，NO_3-N濃度は磯焼けが顕著になる1950年前後以降にしばしば7μMを下回り，1990年前後以降ではホソメコンブ配偶体の成長に必要な最低値（5μM）を下回る時期も多くみられ，過去118年で最も低いレベルで推移した。

このような栄養塩レベルの低下は，近年の北海道日本海で著しい磯焼けの一要因として考えられている。前述のように，本沿岸域では施肥等による人為的な栄養強化が栄養塩不足および窒素制限の解消に有効であると判断される。施肥は，磯焼け対策における重要な栄養強化法として古くより認識されてきたが，効果的な施肥方法や施肥効果の判定方法について未解明な点が多かった。第６章では，北海道日本海の磯焼け海域において，海水のδ^{15}N-DINより有意に低いδ^{15}Nを示すDIN（硫酸アンモニウム：$(NH_4)_2SO_4$の液肥）を，各年調整された施肥量および施肥期間で24時間連続添加し，藻体のδ^{15}N分布を施肥前後で比較することで，ホソメコンブへの施肥効果および藻体δ^{15}Nの施肥効果判定ツールとしての可能性について検証した。施肥開始後は，施肥地点付近で施肥材由来のDIN（アンモニウム態窒素：NH_4-N）が高濃度で分布し，ホソメコンブの成長促進および海藻現存量の増大が確認された。施肥地点付近におけるホソメコンブ等の海藻類は，高濃度のDINに対応して低いδ^{15}Nを示したことから，施肥材由来のDINを利用して生育している状況が確認された。藻体のδ^{15}Nは，施肥地点から離れるに従い上昇して施肥開始前の値に近づく分布傾向を示したことから，海藻類に利用されたDINの起源が，施肥地点から離れるに従い施肥材から対馬暖流水に変化し，藻体のδ^{15}Nに反映された可能性が示唆された。施肥地点における藻体δ^{15}Nの低下の程度と，施肥地点から施肥開始前の藻体δ^{15}Nとほぼ同じ値になる定点までの距離は，各年の施肥量および施肥期間に対応して異なった。これらの結果から，本海域における窒素施肥は，ホソメコンブの成長促進および現存量増大に効果的であり，藻体のδ^{15}Nは施肥効果判定ツールとして有用であることが示唆された。

本研究により，北海道日本海における栄養塩供給特性は時空間的に変化し，栄養塩供給規模は過去100年スケールで低下している（貧栄養化）と判断された。本沿岸海域の貧栄養化は，自然現象をも要因とするが，海域の物質循環特性と供給メカニズムを時空間的に評価することで，局所的ではあるが人為的に経済性を持って対策可能（脱貧栄養）であると考えられた。