

北方冷水域の海洋生態系 —生態系と北方民族文化に対する温暖化の影響—

谷口 旭
東京農業大学

Marine Ecosystems in the Arctic and Subarctic Seas: Possible Effects of the Global Warming on the Ecosystems and Northern Cultures

Akira TANIGUCHI
Tokyo University of Agriculture Okhotsk

The arctic and subarctic seas are characterized with eutrophic conditions in the surface layer due to winter convection of the water column. Although lowered solar radiation limits the primary production in winter, annual total production of phytoplankton (primary producer) is enhanced during warm seasons by the nutrients supplied by the convection. In shallow neritic areas since sufficient solar radiation reaches the bottom and nutrients are continuously supplied from the bottom, macro-algae and sea-grasses heavily proliferate. However, such area is limited within very narrow coastal zone. Most marine animals in the arctic and subarctic seas are largely depending on the food-chain initiated from the plankton production. This means that degree of nutrient supply in winter is profoundly important in these seas.

Global warming will significantly and negatively affect the winter convection and leads the marine ecosystems to a poorly productive system. In addition to the effect on convection, other effects of the warming have been suggested. In this paper, those effects and possible consequences in the arctic and subarctic marine ecosystems are described.

キーワード：北極海、亜寒帯海域、海面冷却と対流、栄養塩、食物連鎖、系の安定と多様性、温暖化の影響

Key Words：Arctic Ocean, Subarctic Seas, Surface Cooling and Convection, Nutrients, Food Chain, Diversity and Stability of a System, Effect of Global Warming

はじめに

本稿の目的は、北方冷水域における海洋生態系の特色と予測される地球温暖化の影響を、沿岸域の狩猟民の生活に照らして要約することである。私は海洋生態学を専門としており、民族学や人類学を学んだことがないので、北方民族文化を専門とされる方から見ると的外れな論議になるかもしれない。反面、本誌の読者の多くは海洋生態学になじみがないと思われるので、やや基礎的なことから説き起こして私の考えを述べさせていただきたい。

本稿で使う「北方冷水域」という言葉は海洋学上の用語ではないが、北海道辺りから北の寒冷な海域全体を指す便利な言葉である。太平洋側の例としては、北極海をはじめとして、オホーツク海とベーリング海のように凍

る海、また、凍らないけれど海洋学的特性が凍る海と共通する親潮域、アラスカ湾、その間の北部北太平洋中央域（一般的に北洋と呼ばれる）を指す。これらは、海洋学で区分されているArctic Ocean（北極海）とSubarctic Pacific（亜寒帯太平洋）に相当する。

1. 海洋生態系の特質

北方冷水域における海洋生態系の特色を理解するためには、そもそも海洋生態系というものの特徴を知らなければならない。それは、陸上生態系と比較したときにより明らかになる。海洋および陸上いずれの生態系も、植物が光合成で有機物を生産し、それを食べて動物は生き、動植物の排出物や遺骸を細菌が分解することによって水、炭素、栄養塩（肥料成分）などが再び植物

の生産へつながるという点では共通している。しかし、本質的な差異もある。

顕著な差異のひとつは食物連鎖の長さである。陸上では、大きな植物の豊富な生産物の一部を草食獣が食べ、それを肉食獣が食べるというふうに、一次生産からたった3段階で頂点の肉食獣に到達する。ところが、海では微細な植物プランクトンを小さな動物プランクトンが食べ、それを小型魚、中型魚、大型魚へと食いつないでいくので、頂点まで幾段もの栄養階層がある。北方民族が狩猟対象にする海獣類はさらに高い階層を占めている。この差異は、陸上と海中の環境媒体がそれぞれ空気と水であることに起因している (TANIGUCHI 2004: 58; 谷口 2009a: 172; 2009b: 45)。

水は空気に比べて、高密度、高粘度で、吸光度も高い。しかも海は深いので、海中環境は植物にとって厳しい環境になっている。すなわち、海水の吸光度が高いので、海中は深さとともに急速に暗くなり、光合成はごく表層に限られる。一方、高密度、高粘度の海水は混合しにくいので、沈降して深層で分解された有機物から再生する栄養塩は表層へ回帰しにくい。それゆえ、光合成が可能な表層では栄養塩が欠乏しやすい。この状態を「貧栄養」というが、貧栄養は海洋表層環境の本質だといつてよい。

明るければ希薄栄養環境である海洋表層で生活しなければならない植物は、必然的に小型でなければならない。小型であるほど体積に対する表面積の比が大きいため、周囲の水との摩擦も大きくなって沈みにくくなる上、表面から栄養塩を吸収する効率も高くなるからである。それが植物プランクトンである。その大きさはおおむね10-100 μmときわめて微細なので、これを採食する動物として0.5 mmから1 cmほどの、やはり小型な動物プランクトンが進化してきた。その動物プランクトンを数cmの稚魚や小型魚が、稚魚や小型魚を数十cmの中型魚類、それを1 mを超えるような大型魚が、というように順次捕食するので、海洋の食物連鎖は長くなる。陸上生態系の食物連鎖が炭水化物を主成分とする植物を肉食動物に連鎖するものとして草食動物を必要としているのに対して、海洋の食物連鎖はサイズ増大の機能を果たしているのである (谷口 2009a: 177)。

われわれが利用する水産資源は食物連鎖の4ないし5番目の階層を占める魚類である。食物連鎖の一段ごとに摂食した有機物の90%が代謝され、残りの10%が次の食段階へ連鎖する。ゆえに、4番目の階層に至る間に植物プランクトンの生産物の99.99%が失われ、魚類の生産はわずか0.01%にしかない。一方、陸上の草食動物は直接植物を食べてその10%を自分の体の生産に充てるので、大変効率が低い。草食動物を家畜にする理由はここにある。したがって、畜産学者はしばしば水産業を効率の悪い産業だと批判することがある。

しかし、この効率の低さこそが海洋生態系安定の鍵だ

ということを見落としてはいけない。失われた99.99%から再生された栄養塩が、貧栄養な表層で生活する植物プランクトンの生存を保障するからである。この生産→摂食→分解 (栄養塩再生) →生産という栄養塩循環が1年間に何度も繰り返されているから、海洋生態系は貧栄養環境でも安定的な持続性を確保できているのである。

2. 北方冷水域における生態系の特徴と民族学的な意義

2-1 北方冷水域生態系の特徴

海洋は基本的には貧栄養環境であるが、中には相対的に栄養塩が多い海域もある。そのひとつが北方冷水域である。北方冷水域では冬に表層水が冷却されて重くなり、下層水と対流混合するときに大量の栄養塩が表層にもたらされる。それゆえ短時間に栄養塩の再生利用を繰り返すことの重要性が小さいので、プランクトンを含めて生物全体が大型長寿命にかたより、食物連鎖は短くなっている。富栄養な北方冷水域では、栄養塩循環を滞らせる大型長寿命の海獣類や鯨類の生存も許される (図1)。

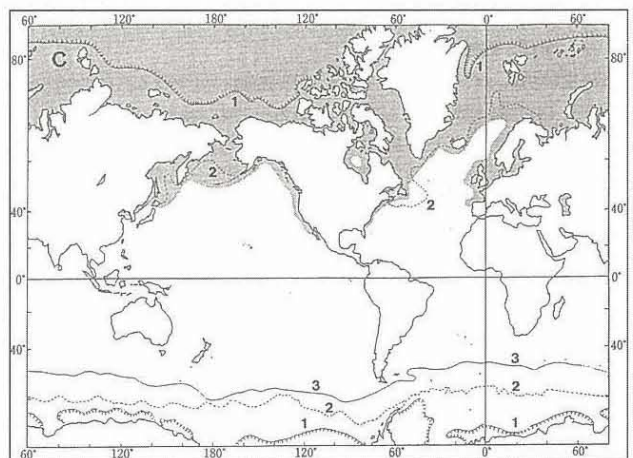


図1. 鰭脚類のうち北半球で個体数が多いアザラシ科アザラシ亜科の分布。北方冷水域で繁栄している (和田・伊藤 1999)。

以上のことが理由となって、北方冷水域には生産性の高い漁場が多く、海洋生物を採捕捕獲して生活する北方民族にとっても有利な領域になっているといえよう。

2-2 海洋沿岸域が狩猟生活に有利な理由

一般的に、沿岸域は狩猟生活に有利だが、農耕生活には不利である。農耕に不利な最大の理由は、塩性低湿地が多く、河川や地下に海水が浸透して塩害が起こりやすいことである。このことは、地質学的に若く、かつ、降雨量が多くて急流河川が多い日本列島では分りにくいですが、地下に岩塩層までがある旧大陸では大きな難点である。日本では昔から沿岸域に農耕と漁業の両方を基盤にした集落ができていたのに対して、旧大陸の古代四大文明が沿岸域を避けて大河川の中流域で起こった理由もこれであっただろう。

一方、沿岸域が狩猟採集生活に有利な理由は、植物の量では陸上に劣るものの、人の食料になるような動物資源の持続性は海の方で高いという点にある。海の動物は一般に動きが遅いこと、また、海岸近くでは海にも陸にも凶暴な動物が少ないことも有利な点である。以上の理由により、海洋の沿岸域は農耕よりも狩猟に向いているといえる。

2-3 北方民族が北にいる理由を考える

1万年前に農耕文明が起こって以来、人々は農業や商工業に同化され、狩猟生活を続ける人口は激減した。商工業が発展した地域では農耕に不向きな沿岸域も都市化され、狩猟の場は失われる一方であった。古代ギリシア時代には、すでに海辺の狩猟民族(魚食民)は珍奇な辺境の民とみなされていた。その思想は中世の世界地図にも残されている。このことは、農耕ないし都市化ができないところに狩猟文化が残ったことを如実に示している。今日も、狩猟民族の生活領域は農耕や都市化に不向きな地域だといえる。北方民族の場合、極寒と塩害に曝されながらも海洋生物の狩猟には有利な沿海地域を生活領域として選択したのであろう。

2-4 北方冷水域にそなわる利点

では、北方圏沿海地域における狩猟に有利な条件とはどのようなものなのか、それについて海洋生態学的観点から考察してみたい。

2-4-1 北極海

北極海は氷に覆われているが、その下の海中では生物が冬にも活動を続けている。夏には氷下の生産力が予想されていたよりもはるかに大きくなることは、最近になって発見された現象である。未だ具体的な数値で示しうほどの知見はないものの、夏には南から鯨類などが餌を求めて回遊してくることは、北極海が生産力が大きいことを示している。その回遊が短い夏に集中すること、また残った海氷が鯨類の分布を集中させるので、獲物は時間的にも空間的にも集群し、狩猟がしやすい条件が整う。

一方、海氷は船舶の航行を妨げ、港の構築を困難にする。陸地には永久凍土帯や塩性湿地があつて農耕はできず、冬の厳しい気候は南方の都市との交易を妨げる。いかにも農業や商工業には不向きであり、それだけ狩猟生活の有利性が相対的に大きくなっている。

2-4-2 亜寒帯海域

亜寒帯太平洋の代表的な海域はベーリング海やオホーツク海である。この海域の生態系の特長は低次生産者(プランクトン)の生産力が大きいことで、とりわけ春から初夏にかけて植物プランクトンが爆発的に大增殖する現象は顕著である。この現象は、北国の花が春に一斉

開花する現象になぞらえて「春季ブルーム(spring bloom)」と呼ばれている。これを支えているのが、冬の対流で下層から補給された豊富な栄養塩であり、それゆえ亜寒帯海域は富栄養海域だといわれる。

氷に覆われた冬にも、亜寒帯海域の生物生産は想像されているよりも大きい。海面が凍結して雪が積もれば、その光景は冬の大地のようであり、大部分の生物がその下で冬眠しているかのように想像される。しかし、氷下の海水の温度は結氷温度(-1.7℃)以下にはならないから、水中ではプランクトンや魚が、海底ではエビ、カニ、貝などが活動を続けている。

北海道近くの南部オホーツク海の緯度はおよそ45°N、すなわち北極と赤道との中間にあるから、真冬でも日照時間は8時間以上ある。オホーツク海北部やベーリング海中央域でも真冬の日長は5時間程度はあるので、光合成は十分に可能である。

地表に到達した太陽光のうち地球外へ反射する光の比をアルベド(albedo)というが、氷とその上の積雪はこのアルベドを大きくする。それゆえ、海水下の海中は暗く、光合成生産は制限されると考えられる(Shiomoto 2012: 35)。しかし、極域のアルベドも真っ白な雪氷から想像されるよりは小さく、一般的に0.8~0.9程度といわれている。残りの10~20%は水中に入射するので、氷中では植物プランクトンが光合成して増殖する。その増殖層を通過して海中に入射する光は0.5%程度(例えばKudoh *et al.* 1977: 99)で、確かに低い。しかし注目すべきは、氷中の増殖層の存在である。氷中で光の減衰が大きいのは、氷中で植物プランクトンが活発に光合成しているからではないか。

海水中で植物プランクトンが増殖することは、実は古くから知られていた現象である。冬の海水の対流深度は大きく、海中の植物プランクトンは暗い深度まで運ばれるので、光合成能を発揮することができない。そのとき表面に氷が浮いていれば、その中に入ったり付着して光合成することが可能になる。海氷には、凍結する過程で濃縮された塩水を排出する間隙がたくさんあり、そこを生息場として大量の植物プランクトンが増殖する。その群集密度は海水中の密度の数百倍から数千倍にも達する(Hoshiai 1981; 渡辺 1990: 590; 石合 2013)。融氷期にはそれが海水中へ放出され、動物の餌となる。それに引き続いて春季ブルームが起こるので、亜寒帯海域における年間積算生産量は大変大きい。したがって、生涯を海中で過ごす魚介類はもちろん、成長期に海の生産を利用して繁殖期に陸に戻るサケマス類、海獣類、海鳥類も、亜寒帯海域には多い。

以上に述べた高い生産性および狩猟・漁労の主な対象であるサケマス類や海獣類の卓越は、北方民族にとって亜寒帯海域沿岸域がきわめて有利な生活の場となる理由のひとつだと考えられる。

2-4-3 北方冷水域が恵みの海であるもうひとつの理由

北方冷水域でプランクトンをはじめ魚類や海獣類の生産が大きい理由は、富栄養と海水の存在だけではない。これらの海では、植物プランクトンのなかでも大きいサイズの種類が卓越することも重要な理由になっている。より大きな植物プランクトンから出発する食物連鎖では、魚類や海獣類に到達するまでの食段階数が少なく、途中で失われる有機物の損失量が小さくなる。それゆえ、魚類や海獣類の生産効率が高くなる (LALLI and PARSONS 1997: 115)。すなわち、生態系の基礎であるプランクトンの生産力と食物連鎖効率の両方が高いことの相乗効果で、北方冷水域は恵みの海になっているのである (図2)。

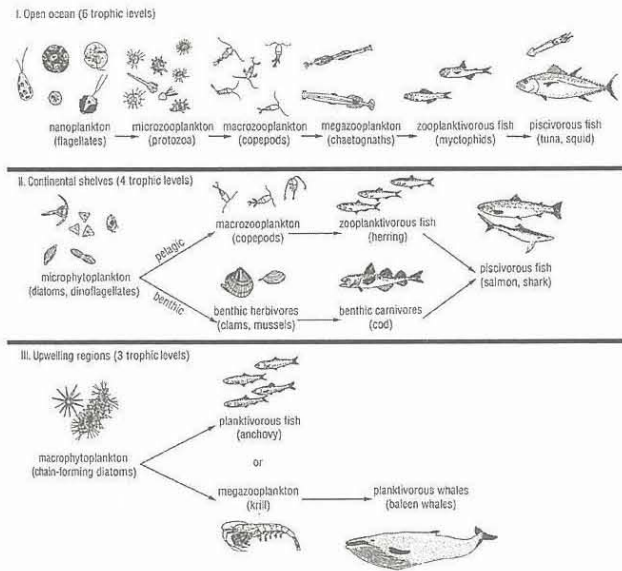


図2. 海域間で異なる食物連鎖構造。(I) 海洋の大部分に見られる食物連鎖は長く、6段の栄養階層からなっている。(II) 陸や海底から栄養塩が補給される沿岸域の食物連鎖は4段階。(III) 中深層から栄養塩が大量に補給される湧昇域の食物連鎖はわずか3段階で、北方冷水域の食物連鎖はこのタイプ (LALLI & PARSONS 1997)。

大型の植物プランクトンが卓越する理由は完全には説明できていないが、冬に補給された栄養塩が豊富であること、夏期間に表層下に顕著な密度躍層が発達して植物プランクトンを沈降しにくくすることが主な理由だと考えられている。陸岸に囲まれていて大河川が流入し、大陸棚域面積が広大なオホーツク海やベーリング海では夏期間にも栄養塩が供給されるので、とりわけ大型植物プランクトンの増殖が刺激される。親潮の源流はベーリング海にあり、その流路でオホーツク海の影響を受けるので、親潮流域の植物プランクトンも大型であり、その生産性はきわめて高い。

亜寒帯北太平洋の中央域から東部のアラスカ湾では大型植物プランクトンの卓越度が低く、生物生産力もやや

低い。その理由は、地形が開放的であるため陸源物質の補給が少ないことに加えて、冬季の対流深度が西部域に比べて小さいことにある。このことは、冬季に海表面が強く冷却されてより深くまで対流することが北方冷水域における生物生産性を高める重要な鍵になっていることを示している。

3. 地球温暖化の影響

3-1 予測

今まで述べてきたことから、地球温暖化が北方冷水域の生態系に甚大な影響を及ぼすであろうことは、容易に想像できよう。北方冷水域の生物生産力が大きい理由は、つきつめてみれば、夏は暑くて冬は寒いこと、とりわけ「冬の寒さ」にあるのだから、温暖化は大きな負の影響を及ぼすにちがいない。事実、負の影響予測例は多く、一部はすでに顕在化している。注目される予測例を以下に紹介する。

温暖化によって海水温が上昇すれば、その結果さまざまな影響が現れる。まず冬の対流が弱くなって栄養塩補給量が減り、生態系全体の生産が低下する。また、海流の流れ方や生物の地理分布が変化するだけでなく、生物の繁殖や索餌の時期も変化し、ひいては漁場の位置も変化する。陸上では融氷が進行するとともに降水量が増加するので、海に流入する陸水が増える。それは、陸起源の栄養塩を運んでくる一方、海の表層塩分を低下させて対流を弱め、その結果表層水温は上昇してさらに対流を弱めるので、下層からの栄養塩補給がますます減少する。

気温と水温の上昇で海氷が少なくなれば、氷の中や氷の下で繁茂する植物プランクトンが減り、氷上を基盤とするアザラシやホッキョクグマの生活が制限される。深刻なのは、冬の表面冷却で形成される深層水や中層水の勢力が弱まる結果、地球規模の熱やガスの輸送が制限され、その結果温暖化はますます加速して深海は無酸素化するという予測である。そうなると、全人類が大きな危険に曝される。

水温が上昇すると海水の体積が膨張し、陸水の流入増とあいまって海面はさらに高くなる。IPCC第4次報告書第1作業部会報告書 (2007: 53) では、2090年代には1990年に比べて海面が18~59 cm上昇すると予測されるが、南極やグリーンランドの氷河の流出が加速されるとさらに10~20 cm上昇する可能性があるという指摘している。海面上昇は、海洋生態系には大きな影響を及ぼさないが、沿岸域では土地の喪失や塩害が拡大するので、陸圏に対しては大きな影響を及ぼす。

温室効果ガスである二酸化炭素は海水に溶けやすいので、海水は酸性化し、その結果、炭酸カルシウムの殻や骨格を持つプランクトン、ウニ、貝などの生存が脅かされ、ひいてはそれらを捕食する大型動物も負の影響を受けるだろうともいわれている。

3-2 既に起こりはじめている変化

すでに温暖化は亜寒帯北太平洋全体で生物生産を低下させ、漁獲量減少をもたらしているという指摘がある。この傾向が続けば、アザラシやクジラなどの最高位捕食者の生産力が低下し、北方民族も打撃を受ける。さまざまな海洋生物の分布範囲が北上しており、2012年夏には網走近海の定置網に暖水性のマンボウやブリがかなりの数入網した。日本全体で進行している磯焼けも、海藻が北へ逃げている結果だという説明が有力である。

北極海の氷は激減し、北方民族のアザラシ猟は難しくなってきた。海水減少で露出した海面から熱が放散するので、北極海沿岸域では温暖化は加速する。ほかの海域でも、海面上昇で臨海低地が水没しはじめたとか、高温と酸性化でサンゴ礁が消滅しつつあるということが次々と報告されている。最近の、いわゆる「異常気象」には、だれもが気付いているだろう。

3-3 温暖化への対処

上述のように、地球温暖化は、特に北方冷水域の海洋生態系とそれを利用する人々に深刻な負の影響をもたらす。したがって、さまざまな温暖化防止策が提案されてきた。陸域では、二酸化炭素を森林造成で吸収するとか地下へ封じ込めるといような方策が考えられており、一部は実施されている。

海洋で行う防止策の提案もある。海は広いので期待も大きい、名案もあり、感心できない案もある。最も即効的な方法は、大気中の二酸化炭素を液化して深海へ注入する方法で、技術はすでに実用の水準に達している。しかし、海水を急速に酸性化するという点で危険であり、市民の賛意はえられにくい。

一般に「海洋肥沃化」と呼ばれる方法はもっと穏やかで、海洋表層に不足する栄養塩を肥料のように撒いて、植物プランクトンの光合成生産を刺激して二酸化炭素を固定するという案である。これは、魚類や海獣類の生存量を拡大することにもなるので、私には名案だと思われる。

しかし、慎重論もある。それは、どこの海も北方冷水域のようになる、すなわち生産力は大きい生態系構造はやや単純な海になるという恐れである。自然の単純化を防いで多様性を護るべきだという考えは根強い。富栄養な深層水を汲み上げたり、海底に小山を作って富栄養な下層水を湧昇させるという案もあるが、これにも同じ理由で慎重論者は賛成していない。

いずれにしても、最終的に海洋生態系がどのような姿になるかを正しく予測できないうちは人工の手段は差し控えるべきだ、というのが現今の国際世論の大勢である。その背景には、農耕と商工業の発展に伴って自然を失い続けてきた歴史への反省があり、20世紀に自然破壊をもたらした科学技術至上主義に対する信頼の揺らぎがある。

おわりに

以上にみてきたように、北方冷水域には狩猟生活を有利にする条件が揃っているが、地球温暖化はそれに危機的な悪影響を及ぼす。温暖化は現在進行中であり、遠からず北方冷水域の生態系に依存した北方民族文化も深刻な影響を受けるに違いない。

丸い地球では、北方圏は世界の小さな一部に過ぎず、北方民族の人口も経済も世界の人口と経済のごく一部に過ぎない。したがって、工業先進国から見れば、北方圏の危機は大きな問題には見えないだろう。むしろ北方民族文化を商工業中心の「近代的な文化」へ転換すれば経済的にも文化的にも大きな恩恵が生まれると考えるだろう。しかし、生態学の立場からは賛成しかねる。北方民族文化は、北方冷水域の特徴ある環境と生態系に適応した独特の文化なのである。

近年、生物多様性の重要性が強調されているが、その理由を理解している人が多いとはいえない。国連の「地球規模生物多様性概況第3版」(2010)には「生物多様性の減少と変化によって脅かされる可能性のある生態系サービスとしては、食料、繊維、医薬品そして新鮮な水の供給や、農作物の受粉、汚染物質の濾過、自然災害からの保護などが挙げられる」と書かれている。生態系の機能の中から人間にとって有益な機能を切り出して「生態系サービス」と名付け、その経済的な価値は高いから大切だという説明である。この論理が一人歩きすると、もっと高価なものや巨大ビジネスのためには生態系とか生物多様性の一部は犠牲にしても良い、という論理がうまれかねない。

強調すべきことは、「生態系」という「系」が大切だということなのだ。生態系を切り刻んで経済的な価値を評価することは、むしろ生態系の軽視を招くだろう。人類は生態系の一部だから、生態系には人類生存の基盤としての価値があり、その価値は経済的に評価できるものではない。いみじくも国連環境計画事務局長がこの「概況」の前書きに書いているように、生態系は「人類にとっての生命維持システム」なのである。健全な生態系の中だけで人類は生存できるのであり、健全な生態系の持続と安定は生物多様性に依存している。だから生物多様性は大切なのだ、と説くべきではないだろうか。

自然の系であれ人工の系であれ、ある系が構成要素の多様性によって安定するということは自然の摂理である。たとえば農地のように単純化した系は、人間がエネルギーや物質を継続的に注入してやらなければ、簡単に崩壊する。単純化された系は、世話をし続ける限り効率的な生産系でいられるが、自律性は非常に弱い。それに対して、自然の生態系は人間が世話をしなくても、むしろ人間がお節介しないほうが、はるかに自律的で、安定的で、持続的である。その基盤が構成生物の多様性なのだ。これは「生態学の原理」である。

北方民族文化の存在も人類社会の多様性の一部であ

り、人類社会の安定性、持続性を保障する重要な要素のひとつだとみるべきである。人類世界の安定や存続を望むのならば、民族文化の多様性を軽視すべきではない。これが、生態学徒としての私の結論である。

文 献

地球規模生物多様性概況第3版 (Global Biodiversity Outlook Ver. 3)

2010 生物多様性条約事務局ホームページ

<http://www.cbd.int/doc/publications/gbo/gbo3-final-jp.pdf>

HOSHAI, T

1991 Proliferation of ice algae in the Syowa Station area, Antarctica. *Mem. natl Inst. polar Res., Ser. E (Biology and Medical Science)*, 34: 1-12.

IPCC第4次評価報告書第1作業部会報告書 (IPCC 4th Assessment Report, WG I Report)

2007 IPCC事務局ホームページ

http://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/japanese/ar4_wg1_ts_jp.pdf

石合思保子

2013 「能取湖のアイスアルジー群集とマイクロプランクトン群集に関する研究」、東京農業大学大学院生物産業学研究科修士学位論文。

KUDOH, S., B. ROBINEAU, Y. SUZUKI, Y. FUJIYOSHI and M. TAKAHASHI

1997 Photosynthetic acclimation and the estimation of temperate ice algal primary production in Saroma-ko Lagoon, Japan. *J. mar. Sys.*, 11: 93-109.

LALLI, C.M. & T.R. PARSONS

1997 *Biological Oceanography, An Introduction* (2nd ed.). 314 pp. Elsevier, Amsterdam,

SHIOMOTO, A

2012 An early spring bloom of large diatoms in the ice-covered Saroma-ko Lagoon, Hokkaido, Japan. *J. mar. boil. Assoc. U.K.*, 92, 2937.

TANIGUCHI, A

2012 Biological Oceanography: the present revisits the past. In S. Marcos *et al.* eds. *Ocean Sciences Bridging the Millennia, A Spectrum of Historical Accounts, Proceedings of ICHO VI, Qingdao, China, 1998*. pp. 35-43, UNESCO, Paris, and China Ocean Press, Beijing.

谷口 旭

2009a 「海の環境と生態系の総観」塚本勝巳 (編) 『海と生命—「海の生命観」を求めて』 p. 171-184. 東京大学海洋研究所、海洋生命系のダイナミクス⑤、東海大学出版会：東京。

2009b 「生物資源の持続的利用の考え方」『環境情報科学』 38(2)： 43-48.

和田一雄・伊藤徹魯

1999 『鰭脚類—アシカ・アザラシの自然史』 284 pp., 東京大学出版会：東京

渡辺研太郎

1990 「沿岸海水域の一次生産」『月刊海洋』 22(10)： 588-596.