

干潟と地球温暖化

野原 精一・井上 智美

(独立行政法人 国立環境研究所 アジア自然共生研究グループ)

摘 要

地球の平均気温は 2100 年には 1990 年に比べて 1.4~5.8℃上昇すると予測され、平均海面水位も 2100 年には 1990 年に比べて 9~88 cm 上昇すると予測されている。50 cm の海面上昇で幅 150 m の干潟面積が消失し、シギ、チドリなどの渡り鳥の生存にも大きな影響が出ると概算されている。海面が 30 cm 上昇したとすると、日本全国の砂浜海岸の実に 56.6%が浸食されると予想されている。

熱画像の夏期の観測によると、裸地や人工構築物は 40℃近くなったが、盤州干潟は 30~34℃と比較的低く、干潟の浅い水面より砂連上部で比較的溫度が低かった。干潟は比較的均一の溫度分布であり、極端な高温にまで至っていなかった。

地球温暖化による海面上昇は海岸が後退する方向に作用するが、集中豪雨の増加等によって降水量が増え、陸域からの堆積物が増加する逆の可能性もある。干潟の地形は底生動物や後背湿地の塩生植物分布を左右する大きな要因で、その地形変動の長期予測と生態系影響は未解決で重要な問題である。

キーワード: IPCC、沿岸域、海水温、海面上昇、干潟生態系

1. はじめに

地球温暖化という新たな環境問題が認識されてきている。2001年の IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 第3次報告書¹⁾では、平均地上気温が20世紀の間に約0.6℃上昇していることや衛星データによる1960年代以降の雪氷面積の減少、海洋の貯熱量の増加など様々なことがわかってきており、地球の温暖化の傾向がよりはっきりしてきた。その報告書では総合的に見て、ここ50年の間に観測された温暖化のほとんどが人間活動による可能性が高いという結論を出している。大河川のデルタ地域をかかえるバングラデシュとベトナムは、海面上昇によって国土の10%~20%が水没し、14%~23%の国民が危険にさらされると予想されている。日本では、50 cm の海面上昇で14万 ha の土地が水没し、2.3%の人口が危険にさらされる可能性が予測されている。

干潟の背後は堤防などで遮断されており、温暖化による海面上昇の際に陸側に後退することは出来ないため、平均勾配が1/300程度と非常に緩やかな干潟は、50 cm の海面上昇で幅 150 m の面積が消失すると概算される。このように非常に緩やかな干潟は、海面上昇の影響が劇的に大きいと予測される^{2), 3)}。内湾や内海の高い生産力を支えて

いる5万 ha の日本の干潟も、海面上昇につれて消滅する危険性があり、シギ、チドリなどの渡り鳥の生存にも大きな影響が出ると考えられている⁴⁾。また、砂浜海岸の浸食も社会問題になっている。もし、海面が 30 cm 上昇したとすると、日本全国の砂浜海岸の実に 56.6%が浸食されると予想されている⁵⁾。さらに、海面上昇が 65 cm や 100 cm になると、砂浜の浸食は実に 81.7%や 90.3%になるといふ。

そこで、本稿では特に日本の干潟の現状を概観し、干潟や沿岸域に及ぼす地球温暖化の影響、特に気温や水温上昇と海面上昇の現状と将来予測について述べる。次に、温暖化に関係の深い干潟水温の観測手段として、航空機リモートセンシング手法を用いた具体例を述べる。最後に、海面上昇があると干潟やその後背湿地である塩生湿地がどのような影響を受けるかについて、地形との関連から推測する。

2. 日本の干潟

干潟は地球上において、最も生物多様性の高い場所の一つであると言われている。日本の干潟は世界規模で季節移動を行う渡り鳥にとって、位置的に渡りの中継地、または越冬地として重要な

役割を果たしており、これらの渡り鳥を含む干潟生態系の保全は急務である。地球に誕生した生きものを不用意に消滅させてはいけないことは、生命倫理の観点から当然であると同様に、人間の生命基盤である自然生態系の重要な要素である物質循環機能からも考慮されなければならない⁶⁾。

日本において明治以降、干潟を含む湿地は開発によって次々と姿を消している。1990年に存在する干潟は 51,949 ha で、そのうち前浜干潟が 63.6%、河口干潟が 30.4%、潟湖は 5.5%、その他 0.5% で、戦後だけでも干潟の約 4 割が消失したと言われる⁷⁾。特に高度成長期以降、沿岸域の大規模な埋め立てや開発により大小多数の干潟が消失した。世界自然保護基金日本委員会の報告書⁸⁾は、日本の干潟環境に悪影響を及ぼしている主な要因をまとめている。それによると、埋め立て、人口護岸建設、富栄養化、河口堰の建設などの人為影響が重要であるとしているが、この時点ではまだ顕在化していないためか、地球温暖化による海面上昇や水温上昇については考慮されていない。

3. 海水温上昇と海面上昇

3.1 海水温上昇

海洋は地球表面の 7 割を占め、大気と熱交換することで陸域の気候を大きく左右している。また、海洋での蓄熱容量は大気に比べ 1,000 倍と大きく、海水温は容易に上昇せず、熱を伝える移流のプロセスと拡散は遅いので海洋表層の水温は比較的早く反応するが、中層・深層では数年以上かかる。また、海水温はその緯度や季節によって変動し、エルニーニョやラニーニャ等のような年を超えた周期的な変動もある。外洋の水温変化の長期にわたる観測例は少ないが、亜熱帯海域のバミューダ沖で 1922～1995 年の観測例が知られている⁹⁾。それによると、深層水の長期的な水温の上昇傾向が示されている ($0.7^{\circ}\text{C}/100\text{年}$)。一方、大西洋の亜寒帯沖の深層水では逆の結果もある。過去 50 年にわたる全海洋での水温の観測データ (表層～3,000 m の平均) を整理した研究では、約 0.05°C の水温上昇が示されており、地球表面の温暖化の影響を受けているらしいことを示している¹⁰⁾。

気象庁が発表した、北太平洋中部の海面水温の冬季における年平均偏差についての約 100 年にわたるデータでは、北太平洋中部で 1940 年代に海水温が急激に 1°C 以上も上昇している¹⁰⁾。外洋を航行する船舶や人工衛星により観測された北西太

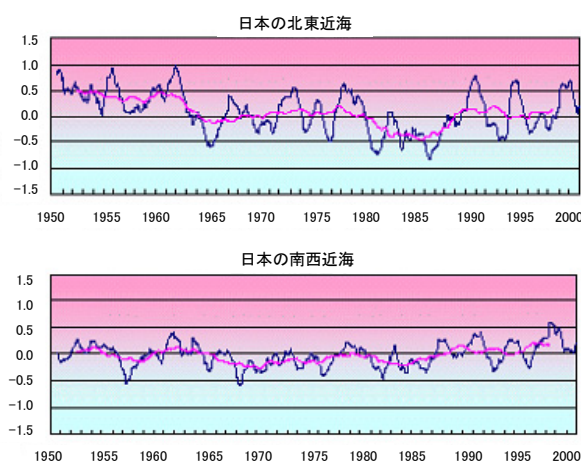


図1 日本の近海の海水温変化。
(気象庁, <http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/GWP/Vol1/document.html>).

平洋の海面水温のデータに基づき、日本近海の海面水温の変化を図1に示した。これは、日本近海の海域における海面水温と平年値からの差(平年差)の経年変化を示したもので、日本の北東近海の海面水温は、1980年代半ばにかけて下降傾向にあり、近年は上昇傾向に転じている。また、南西近海の海面水温も、数年周期の短い変動を繰り返しながら、長期的には1980年代以降上昇してきている。

3.2 海面上昇

海面の高さは、潮汐により半日周期や半月周期で変化するほかに、気圧、風、海流によっても影響を受ける。そのため、長期間を平均した平均海面が用いられる。Gornitz and Lebedeff¹¹⁾は20年以上の連続データに基づき、地盤変動を補正する130の検潮所のデータから、過去100年間に10 cmの海面上昇が生じていることを明らかにした。

最近、IPCCの第三次評価報告書¹⁾に掲載された地球全体の平均気温と平均海面水位の予測結果では、さまざまな気候モデルやシナリオを用いて予測した平均気温が1990年に比べてどれくらい上昇するかを示している。この結果によると、地球の平均気温は2100年には1990年に比べて $1.4\sim 5.8^{\circ}\text{C}$ 上昇すると予測されている。この上昇率は、20世紀に観測されたものよりはるかに大きく、過去1万年の間にも観測されたことがないほどの大きさである。また同じように、地球の平均海面水位が1990年に比べてどれくらい上昇するかを示している。それによると、平均海面水位も1990年に比べて2100年には9～88 cm上昇すると予測されている(図2)。気候モデルの精度の向上によって、氷河や氷床の寄与が以前より小さく見積もられた。

今後、どの地球温暖化シナリオを実際の社会が選択して行くかで、干潟生態系の運命も左右されると考えられる(図3)。

一方、日本では気象庁が、全国84か所の潮位観測施設の潮位データをもとに、温暖化などによる長期水位変動や地震予知等のための地殻変動の監視を行っている。図4に、20世紀初頭から記

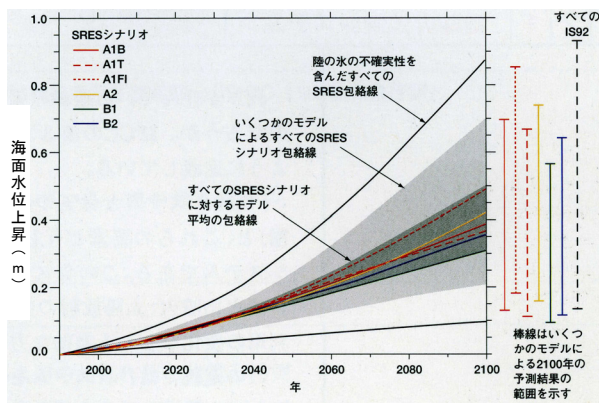


図2 地球全体の平均海面水位の上昇量。100年間で約20cmと見積もられている。(気象庁, <http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/GWP/Vol1/document.html>)

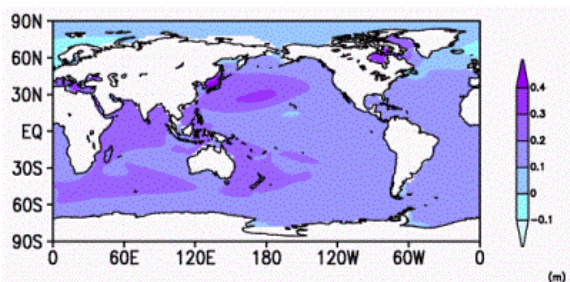


図3 大気中の二酸化炭素の濃度が年率1%の増加率で増加した場合の現在から約100年後の海水面の変化。(気象庁, <http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/GWP/Vol1/document.html>)

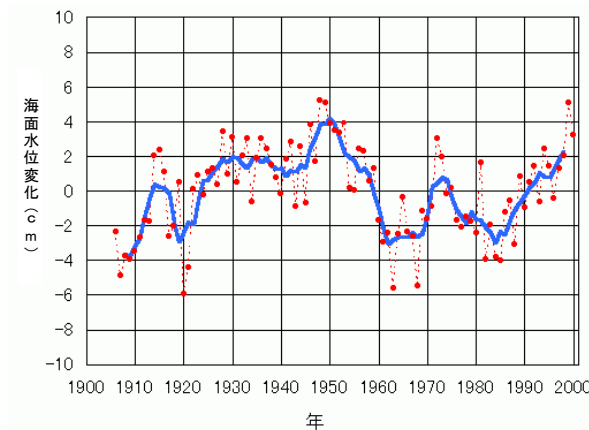


図4 日本沿岸5か所の検潮所の年平均潮位データによる海面水位年変化。(気象庁, <http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/GWP/Vol1/document.html>)

録の残されている日本沿岸5か所の検潮所の年平均潮位について共通した変化を取り出した¹⁰⁾。それによると、日本沿岸の年平均海面水位は単調な増加傾向は示しておらず、1900年代初めから上昇し1950年前後に極大期を迎え、その後減少して1970年代半ばの小さな極大期を経て、近年は再び上昇している。特に最近の上昇に関して、1950年代の極大期より値としては小さく、世界的な海面水位上昇と関連したものであるかどうかは今後の検討課題であるとしている。

4. 地球温暖化による沿岸生態系への影響

ICPPによると、地球温暖化による沿岸生態系への潜在的な影響と生物物理的な影響は次のようにまとめられる¹⁾。

生物物理的な影響関連

- ・海岸浸食の増加
- ・一次生産プロセスの阻害
- ・より大規模な海岸の洪水
- ・いっそう高い高潮洪水
- ・汽水域や帯水層における陸域への海水の侵入
- ・表層水質や地下水性質における変化
- ・病原性微生物の分布の変化
- ・海氷面積の減少 等

社会経済的な影響関連

- ・所有地や沿岸生息地の消失の増加
- ・洪水リスクや生命の潜在的損失の増加
- ・沿岸保護工事や他の社会的生産基盤の損害
- ・病気リスクの増加
- ・回復・存続可能な資源の損失
- ・観光、レクリエーション、輸送機能の損失
- ・貨幣換算できない文化的資源と価値の損失
- ・土壌や水質劣化による農・水産業への影響 等

それでは、日本の干潟生態系には全国規模でどのような影響が現れるであろうか?

これまで全国の主な干潟を対象に、ある程度比較可能な調査を行ったものとして干潟研究会¹²⁾やWWF Japan⁸⁾などがある。しかし、これらも特定の干潟においてマクロベントスの定量調査を行ったものが多く、同じ調査団体が同時期に多数の場所で調査を実施し、比較していることはあまり例がなかった。そこで国立環境研究所⁶⁾は干潟生態系への開発影響を定量的・客観的に、物質循環的機能の観点から評価する手法の検討を行った。ここではモデル調査地として、全国の標準的な干潟、東京湾富津干潟、盤洲干潟(図5)における干潟

生態系の構造と機能に関する調査を例に、生物地球化学的な観点から干潟生態系の特性について述べ、温暖化の影響に関して考察する。

4.1 生物地球化学的な観点からみた干潟生態系の温度特性

干潟水温の上昇はそこに生息する諸生物にどのような影響を及ぼすであろうか？干潟の機能である分解活性から考えて、Duddridge and Wainwright¹³⁾、King¹⁴⁾、Mayer¹⁵⁾らは酵素活性に及ぼす温度の影響を室内実験で調べ、反応温度が20℃から30℃に上昇することにより反応速度は2倍以上になる結果を得ている¹⁶⁾。前浜干潟の人為的な改変の評価は、比較の対象となる同一の景観ユニットに属する基準点と、空間的変動を示す係数を比較することによってできる。その際、底泥の酵素活性は時間的、空間的に変動が大きい、β-アセチルグルコサミナーゼおよびグルコシダーゼの変動が式で表現できることは、各地点の係数は同一時期に調査・測定を行うことで比較可能であることを示している。一方、時期的変動を示す係数

については、本調査の間には季節的変動は見出されず、むしろ2001年から2002年にかけて酵素活性は低下する傾向にあった。その原因は不明であるが、同一地点で調査を継続し、時期的な変動係数を比較することにより、温暖化影響に資する干潟環境や機能の長期間のモニタリングに活かせると考えられる¹⁷⁾。

次に、気候が温暖化することによって干潟がどのように変化するかを考察する。気候および底質サブクラスと生態系機能指標の分類結果の対応関係を図6に示した。生態系機能指標は泥、砂泥、砂干潟の底質サブクラスに対応して3群に分類された。気候サブクラスについて、陸上および海藻植生による気候分類との対応はとれなかったが、北海道では土壌に未分解の植物遺骸が泥炭となって堆積しており、北海道の気候が生態系機能に大きく影響していた。沖縄の一部干潟の底質は、熱帯海域の特徴である有孔虫の死殻から構成され、それに起因するカルシウムは、リンの吸着に大きな影響を与えることが予想される。そこで気候サ

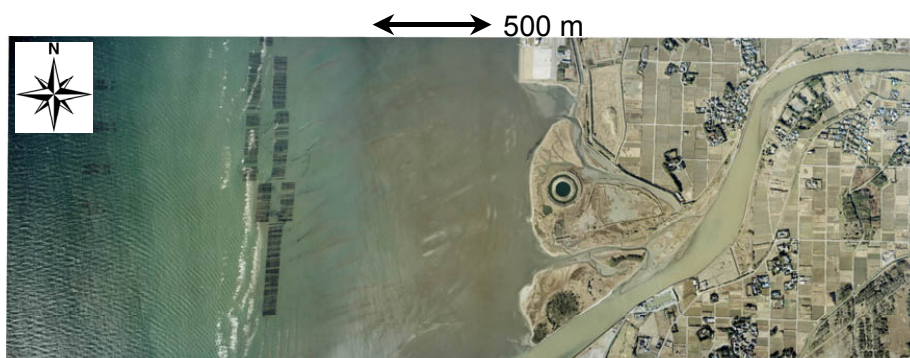


図5 千葉県小櫃川河口の塩生湿地と盤州干潟。(2002年11月)

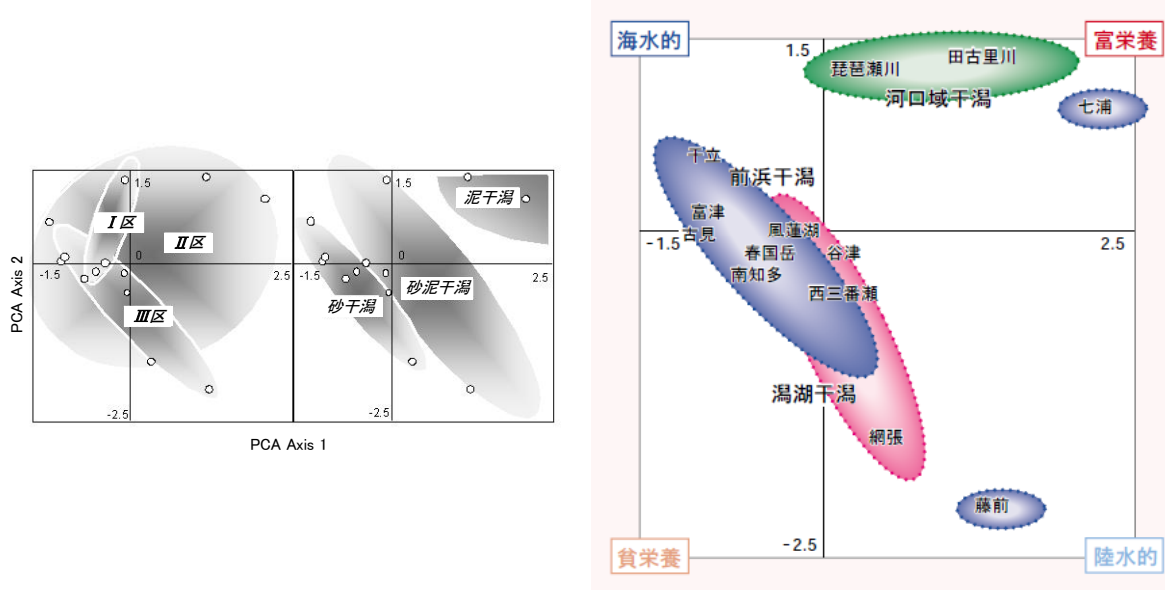


図6 気候および底質サブクラスと生態系機能指標の分類結果の対応関係。(矢部ら¹⁸⁾: <http://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/15/02-03.html>)

ブクラスは、海域サブクラスとあいまって下位のサブクラスとして利用できると考えられる¹⁸⁾。したがって、温暖化によって気候帯が北に移動するため、底質サブクラスが変化し、それに伴い生態系機能が変化する可能性がある。

さらに、干潟の温度分布と日変化について調べた結果から、長期的な温度の上昇について類推する¹⁹⁾。干潟底泥の地温変動^{20), 21)}や干潟表面における熱伝導について^{22), 23)}、また干潟底泥中における熱伝導が潮汐によってどう変化するか²⁴⁾が報告されている。林・田中²⁵⁾は、干潟底質の熱環境の観測を小網代干潟と江奈干潟を対象に実施している。干潟の夏期の底質温度は干出時に最高35℃まで暖められ、冠水すると海水に放熱して海水温に近づく。一方、夜間の干出時には底質が冷却され最低1℃まで降下し、冠水すると海水より受熱して暖くなる。このように、一般に干潟は潮の干満により一日で環境が激変する。特に夏期には高温になるため、底生動物にとっては過酷な環境である。



図7(a)2004年8月18日の盤州干潟の斜め航空写真。人工の円形池には白い裸地がある。干潟部分は薄く水面に覆われ、一部凸部が帯状に露出している。



図7(b)2004年1月の盤州干潟の垂直航空写真。人工的な池の堤には裸地はまだ目立たない。

干潟の温度環境はどのような分布をしているであろうか。船橋ら²⁶⁾は、マルチステージ観測による富津干潟の熱画像から抽出できる情報を報告している。それによると、タイドプール、藻場、干潟を抽出し、浅い小型タイドプールで周辺の干潟より水温が高いとしている。

そこで筆者はさらに、干潟および後背湿地の空間的な環境変化を把握するため、盤州干潟における温度変化の観測を新たに実施した。大潮時に塩生湿地を含む盤州干潟の地温および水温変化を観測した。航空写真(図7(a))はペンタックス645、および(株)京葉測量撮影垂直写真(図7(b))、可視画像はCCDカメラ(ソニーCCD-MC100、解像度60cm)、熱画像(図8)はサーモレーサー(NEC三栄社TS7302、解像度140cm、最小検知温度差:0.08℃)を用い、2004年8月18日の正午過ぎに高度約430mから撮影した。また、現地の温度変化について8月14日～21日に気温、河川、池等でテイドビット(オンセットコンピュータ社製、精度±0.2℃)による10分毎の連続測定を行った。

熱画像の観測によると、裸地や人工構築物は40℃近くなったが、干潟は30℃～34℃と比較的低く、干潟に取り残された浅い水面より砂連上部(干潟凸地)で比較的温度が低かった。これは、モザンビークのインハカ島の干潟で測定された潮だまりと干潟の温度との関係とは逆の結果であった²⁷⁾。我われの観測当日には強い風が吹いており、干潟の表面では蒸発による気化熱による温度低下が見られたものと解釈できる。塩生湿地の地形の複雑さを反映して温度変化も多様であったが、干潟は浅い水面の有無で多少違いがあるものの比較的均一の温度分布をしており、裸地のような極端な高温にまで至っていなかった。

熱画像の観測日を挟んで8月14日～21日に連

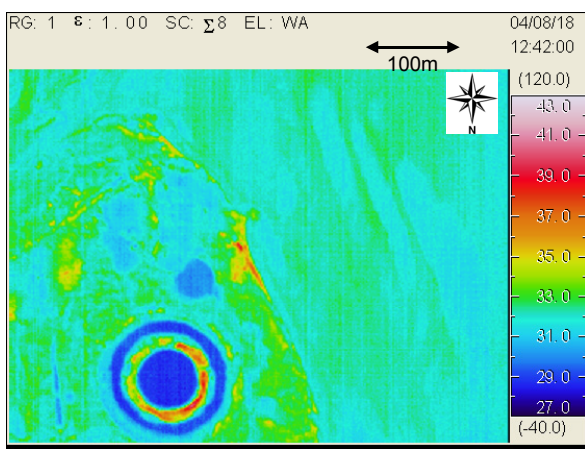


図8 盤州干潟, 2004年8月18日の正午過ぎの熱画像(サーモレーサー)。

続測定した温度の変化を、図9と図10に示した。小櫃川河口塩生湿地の池の水温変化(図9)をみると、どの池も同じような日変化を示し、潮の干満の影響による周期は見られなかった。日光の強い13時頃に水温が最も高くなり、場所による違いは見られないが、夕方から夜にかけての水温の下がり方は地点によって異なっており、明け方5時頃に最低水温を記録し日格差は平均して9.7℃であった。一方、河口水は日最高水温27.5℃～31.6℃で平均の日格差は4.9℃、河口域干潟では日最高水温は28.5℃～41.5℃で日格差は10.9℃であった。この期間の気温の日最高温度は27.2℃～34.2℃、日格差は8.6℃で、温度の日変化は干潟が最も大きかった。盛夏の干潟では日中の温度が40℃を超えるほど高くなることから、底生動物にとって過酷な条件であると予想される。今後、干潟のそれぞれの地域で温暖化予想についての検討が必要であろう。その際、重要なのは空間的な温度分布と、通年において全国各地で干潟の構造ごとに温度を連続モニターすること、底生動物の温度特性の研究などである。

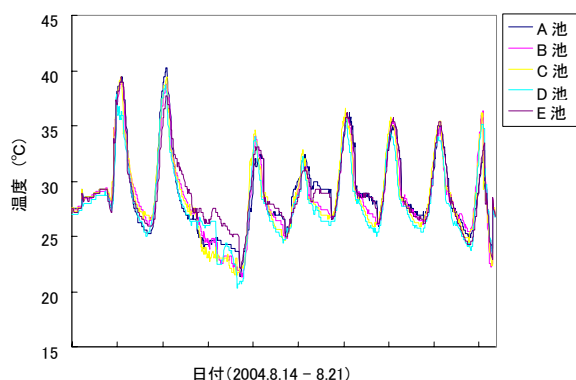


図9 小櫃川河口塩生湿地の池の水温変化.

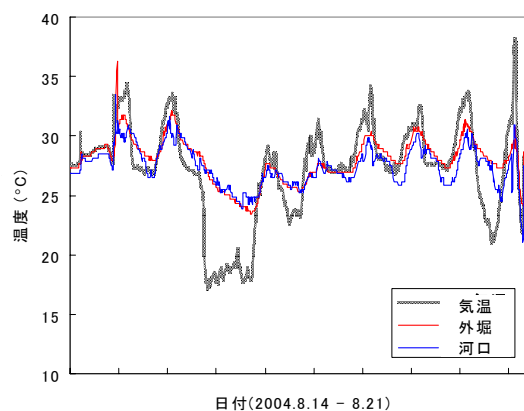


図10 小櫃川河口塩生湿地の気温変化と河川水、人工池の水温変化.

4.2 温度の影響

桑原ら²⁸⁾は温暖化による水産生物への影響予測として、水産有用魚種の生息適水温を明らかにし、水温上昇による分布域の変化を検討している。その結果、温帯性と亜熱帯性の海洋生物の分布域は年間の最高水温が約29℃で分かれ、この水温線の移動が水産生物に影響することがわかった。また、沿岸・固着性種は高水温期に水温上昇の影響を強く受け、分布域の北限が若干北に広がり、南限が大幅に北上して分布域が縮小する傾向にあると予測している。

その分布域変化に関与するメカニズムについて、魚類の温度耐性の研究は多い。例えば魚類の馴致水温、摂餌、成長などの臨界温度との関係が温度耐性図として示されている^{29), 30)}。一方、アサリなど干潟・浅海域の底生生物の高温耐性の研究もあり³¹⁾、生活史の中で8細胞期からD型期に移行するときに高温耐性の変化が認められている。したがって、現場海域の水温変化が高精度で予測できれば、有用魚貝類についての分布域の変化が推定できる段階に来ており、更なる研究の進展が期待される。

干潟の海産生物が昼間の低潮時に耐える機構として、高い温度耐性、蒸発による熱の発散、日光を反射する白色化、巣穴の造成や涼しい巣穴への避難、発達した視覚が挙げられる²⁷⁾。したがって、干潟が高温へシフトした場合に、底生動物にどれくらいの行動による適応能力があるかを研究することも今後重要であろう。

4.3 海面上昇の影響

Valentin³²⁾は、海岸を後退海岸 (retreating coast) と前進海岸 (advancing coast) と2つに分類し、現実に陸地が増加しているか失われているかを基本とした。陸地の損失は沈水によっても浸食によっても進行し、海岸の後退は両者が重なり合って作用するときに最大となりやすい³³⁾。地球温暖化による海面上昇は沈水作用であり、海岸が後退する方向に働く。一方、集中豪雨の増加等によって、陸域からの堆積物が増加する可能性もある³⁴⁾。海岸地形は干潟の底生動物の分布を左右する大きな要因で、高潮帯では比較的明瞭な成帯が認められるが、中央部から低潮帯にかけて各種が分布域を重複させて漸移的な帯位を形成するのが干潟の成帯構造の特徴である³⁵⁾。また、干潟の後背湿地の塩生植物の分布も地形で大きく左右される³⁶⁾。

小櫃川河口干潟は、現在、東京湾に残された唯一の自然干潟であり、その後背湿地には、シオクグ、ハママツナ、ヨシ、アイアシなどの塩性湿地植

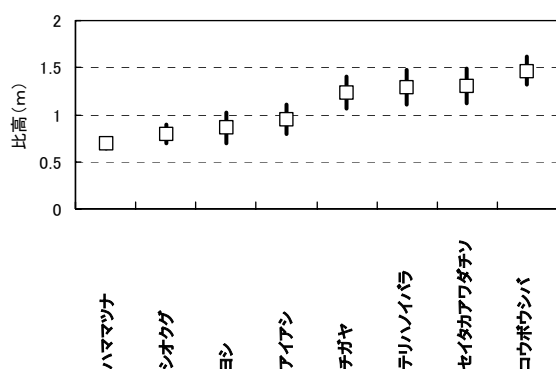


図11 小櫃川河口塩生湿地における主要な植物群落の生育比高範囲。(国立環境研究所, 2005)

物群落形成されている(金子ら³⁶⁾)。干潟に生育する植物について延原³⁷⁾は、干潟に形成される植物の帯状分布は土壌中の塩分濃度および微地形による影響を受けていると報告している。大野³⁸⁾はシオクグ、ハマツナ、ヨシは満潮時に冠水する低地の泥湿地に生育し、アイアシは満潮時に冠水しにくく、ヨシよりも高い位置に生育するとしている。このことにより、立地環境が潮位変動により棲みわけられていることがわかる(図11)。

2001年の調査から、シオクグは比高 0.4~0.8 m 間に生育し、比高 0.5 m 前後で被度 4~5 の高い値を示す一方、比高 1.3 m 付近の陸域においても被度 5 を示した⁶⁾。ハマツナは、比高 0.5 m 前後で被度 2~3 程度に生育が限られ、ヨシは比高 0.2~1.35 m 間に生育し、比高 0.45~0.7 m 間では被度 5 という高い値を示した。その後、比高が高くなるにつれて被度は低くなり、比高 1 m 以上では疎らに生育していた。アイアシは比高 0.5~1.5 m 間に生育し、比高 0.55~0.7 m 間では被度 5 の最高値を示し、比高 1 m 以上でも被度 2 とヨシよりも高かった。セイタカアワダチソウは 1.0~3.0 m 間に生育し、全て被度 5 を示した。チガヤは比高 0.7~1.6 m 間に生育し、比高 1 m 付近で被度 5 を示した。テリハノイバラは比高 1.0~1.6 m 間に生育し、被度 5 を示した。コウボウシバ、ハマエンドウは比高 0.9~1.6 m 間の陸域で確認されたが、大部分が低い被度であった。海面が上昇すると、その水位に合う植物群落にシフトすると考えられる。仮に 50 cm/100年(年 0.5 cm)という変動があった場合、植物がどう対応するかは十分わかっていないが、植物の最適標高に応じて群落分布が変化すると予測される。

筆者らは、小櫃川河口干潟の植生変遷を各景観ユニットの植生変化率により評価した³⁶⁾。その結果、1974~2001年に満潮非冠水型の塩湿地植物

群落は 314.2%、人里植物群落は 92.5%と、干潟後背地や陸域に分布する植物群落は分布を拡大させていることがわかった。満潮時冠水型の塩湿地植物群落は -33.7%、砂丘地植物群落は -92.7%、木本群落は -4.5%と、低地や海岸に生育する植物群落は縮小していた。1974年、1984年、2001年の航空写真を用いて地形変化を調べた結果では、1974年から2001年にかけて全体的に冠水域が減少していた。これは、海岸部分の浸食は見られるが、小櫃川河口干潟の後背湿地は全体的に砂の堆積の影響で比高が高くなり、陸域化が進行している可能性が高く、それによって植生遷移が進んだと推察された。前述のように、この期間に海面上昇等の大きな変化(2 cm 程度)は認められていない。仮に将来変化があるとすると、現在とは異なった植生分布になると考えられる。例えば、干潟の多くは大潮にのみ干出し、現在のハマツナ、シオクグ、ヨシ群落は干潟域に変わり、チガヤの部分にハマツナやシオクグ群落、コウボウシバの部分にアイアシ群落に変化すると予測される。しかし、単純に海面をシフトさせて将来予想するだけではなく、降水量の変化などで流域の状況が変わることなども考慮し、長期的な土砂の移動や堆積・浸食と植生遷移を組み込んだモデルの研究が必要であろう。

5. アジアの沿岸生態系の温暖化影響

IPCC の報告書¹⁾では、アジアの沿岸における温暖化影響は次のように総括されている。地域の人口の半分以上である 17 億人の人々が、現在アジアの沿岸域に住んでいる¹⁾。このことは、アジア沿岸域の環境と社会経済的なシステムへの脅威につながることを意味している。すべての沿岸域では、陸からの様々なストレスや衝撃の程度が増加しており、脅威を示す程度が人間と環境の沿岸システムへの反動となり、さらに気候変動によって悪化させられている。

アジアの沿岸域への気候影響は海面上昇を加速し、より頻繁に厳しい暴風雨となると予想される。東南アジアや南アジアの沿岸域の人々は、持続不可能な資源利用や環境劣化に脆弱である¹⁾。このような所ではマングローブの消失のように、すでに気候変動に関連した沿岸域の水産に決定的な影響を及ぼす様々な影響が考えられる¹⁾。

ジャカルタ、バンコック、天津では1980年代から1990年代に地下水のくみ上げによる 5 cm/年以上の海面上昇を経験している¹⁾。温度上昇は湿地

や淡水供給施設の富栄養化を導くと予想されている。

アジアの沿岸帯では、少なくとも10のデルタにおいて10,000 km²以上の沿岸域地域の河川由来の底質が形成されている¹⁾。デルタや汽水域生態系は気候変動に関連した原因と複雑に関係し、変動に敏感である¹⁾。低地にあるデルタは、海面上昇や海岸の波作用に特に脆弱である¹⁾。ある気候シナリオに基づく河川流量の減少は、デルタ拡大の阻害や汽水域・デルタ域不可逆性のリスクの増加を導くと予想される¹⁾。感潮域河川や汽水域で予測される海面上昇の結果、海水の侵入を起こしやすい¹⁾。地球温暖化と関係した海面上昇は構造上の沈水を悪化させ、また、地下水のくみ上げの結果として地盤沈下を悪化させ、デルタの発達や世界規模の海面の昇降による海面上昇を起こすと予想される。

大きなデルタに付随した低地の泥質沿岸帯は重要な資源と人口を支えおり、例えば、中国ではその低地のデルタ地帯は全沿岸帯の22% (4,000 km)を占めている。この泥質沿岸生態系は、大きなデルタや半閉鎖的な湾の一部分に沿って分布している¹⁾。中国で記録されているようなアジアの泥質帯の浸食は、海面上昇よりも人間活動による底質不足の方が引き金になっている¹⁾。アジアの沿岸域の広い範囲、すなわち中国、日本、インドネシア、スリランカ、タイ、バングラデシュやマレーシアで海岸浸食が報告されている¹⁾。

このように沿岸の湿地は、デルタ、汽水域、潟湖や閉鎖的な湾と深く関係している。

アジアの泥質干潟は、沿岸域の中で主要な部分を占めている¹⁾。主要なデルタ地帯での湿地の埋め立ては過去20～30年の間に行われてきている¹⁾。重要な湿地である潟湖はインド、スリランカ、マレーシア、インドネシア、中国、ロシアの沿岸域に多く位置している。隆起や沈降帯の移行帯は、特に中国の沿岸線に沿って潟湖の形成がなされ¹⁾、このような潟湖は底質の堆積や植物の繁茂の結果、面積が減少する傾向にある¹⁾。海面上昇や川によって運ばれる底質の減少は、デルタの拡大や湿地の更新を減速させると予測され、アジアの湿地の生物多様性はまた、海面上昇による湿地の消失によって重大な脅威にさらされている¹⁾。

バングラデシュのサンダバーバンとインド側の近隣地区は、約6,000 km²の世界で最大のマングローブ林である¹⁾。近年、人為によるマングローブ林の消失は、深刻な問題になってきた¹⁾。タイのマングローブ林のおよそ半分は、1961～1996年に

56%まで減少し、フィリピンでは75%以上のマングローブ林がこの70年以内に失われている。インドネシアでのマングローブ林の破壊は44,000 km²にもおよび、主に1975年から行われた。

マングローブ林の消失は塩分の変化や生産性の変化を引き起こし、また気候変動による海面上昇に脆弱である。堆積作用や有機物の蓄積の変化、沿岸の横断面の変化、種間相互作用の変化の結果で、マングローブ林の種構成や帯状分布における広域スケールも推定されている¹⁾。マングローブ林の外に広がる干潟も同様に影響を受けると予想されるが、まだ十分な解析がなされていない。

6. おわりに

これまでIPCCの報告書¹⁾に基づく地球温暖化についての予測をもとに、干潟生態系および沿岸生態系に及ぼす影響を考察してきた。干潟生態系に依存する動植物についての種組成や生物分布についてはかなり把握されてきたが、それらが持つ機能や環境変動に対する応答についてはまだ十分な研究データがない。したがって、現況の生育環境から海水温や海水面の変化の相似性を軸に議論してきた。今後は干潟の微地形とその変化を全国、アジア、地球レベルで把握し、より具体的に海面上昇の及ぶ範囲を明らかにせねばならない。また、できるだけ多くの野外生物の生息適正指標の開発や環境適応能力、とりわけ温度に対するの適応性を把握し、野外の操作実験を重ねて、より予測精度を高める必要がある。温暖化のスピードに適応できない生物ほど生存が危うくなり、絶滅する危険も増大する。特に移動能力の少ない脆弱な生物については、その適応策を検討する必要があるであろう。もし、同じ地球の生きとし生けるものの仲間を救えないなら、それらに依存している人類そのものの存続も危ぶまれると思われる。

引用文献

- 1) IPCC (2001) *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press. (IPCC 地球温暖化第3次レポート気候変化(2001). 気象庁・環境省・経済産業省 監修, 気象庁ほか編).
- 2) Goss-Custerd J.D., S. McGrorty and R. Kirby, (1990) Inshore birds of the soft coast and sea-level rise. In: J.J. Beukema, W.J. Wolff and J.J. W.M. Brouns, eds., *Expected effects of climate change on marine coastal ecosystems*, Kluwer,

- Dordrecht, 105-112.
- 3) Siefert, W. (1990) Sea-level changes and tidal flat characteristics. *In: J.J. Beukema, W.J. Wolff and J.J. W.M. Brouns, eds., Expected effects of climate change on marine coastal ecosystems, Kluwer, Dordrecht, 105-112.*
 - 4) 三村信男(2003) 日本に対する影響. 総合科学技術会議環境担当議員・内閣府政策統括官(科学技術担当)(共編)地球温暖化研究の最前線 - 環境の世紀の知と技術 2002 -.
 - 5) Mimura, N. and E. Kawaguchi (1996) Responses of coastal topography to sea-level rise. *Proc. of 25th ICCE*, 1161-1165.
 - 6) 国立環境研究所(2003)干潟等湿地生態系の管理に関する国際共同研究(特別研究) 報告書. SR -51 - 2003.
 - 7) 環境庁自然保護局・海中公園センター(1994)第4回自然環境保全基礎調査. 海域生物環境調査報告書(干潟・藻場・サンゴ礁調査)第1巻干潟.
 - 8) 世界自然保護基金日本委員会(1996)日本における干潟海岸とそこに生息する底生生物の現状. WWF Japan サイエンスレポート, 第3巻.
 - 9) Joyce, T.M. and P. Robbins (1996) The long-term hydrographic record at Bermuda, *Journal of Climate*, 9, 3121-3131.
 - 10) 気象庁(2002)20世紀の日本の気候. 気象庁(編), 大蔵省印刷局発行.
(<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/GWP/Vol1/document.html>)
 - 11) Gornitz and Lebedeff (1987) Global sea level changes during the past century, Sea-level Fluctuation and Coastal Evolution, *In: Nummedal et al., eds., Soc. Economic Paleontol, Mineral. Tulsa*, 3-16.
 - 12) 干潟研究会(1974) 開発の干潟に及ぼす影響に関する研究. 秋山章男・桑原 連・松田道生(編).
 - 13) Duddridge, J.E and M. Wainwright (1982) Enzyme activity and kinetics in substrate-amended river sediments. *Water Research*, 16, 329-334.
 - 14) King, G.M. (1986) Characterization of β -glucosidase activity in intertidal marine sediments. *Applied and Environmental Microbiology*, 51, 373-380.
 - 15) Mayer, L.M. (1989) Extracellular proteolytic enzyme activity in sediments of an intertidal mudflat. *Limnology and Oceanography*, 34, 973-981.
 - 16) 広木幹也・矢部 徹・野原精一・宇田川弘勝・佐竹 潔・古賀庸憲・上野隆平・河地正伸・渡辺 信(2003)加水分解酵素活性を用いた日本各地の干潟底泥の有機物分解機能評価. 陸水学雑誌, 64, 113-120.
 - 17) 広木幹也(2005)酵素活性から見た干潟生態系の分解機能評価. 海洋と生物, 159, 337-342.
 - 18) 矢部 徹・野原精一・宇田川弘勝・佐竹 潔・広木幹也・上野隆平・河地正伸・木幡邦男・渡辺 信・古賀庸憲(2002)干潟生態系のレストレーションに際しての生態系機能評価. ランドスケープ研究, 65, 286-289.
 - 19) 下茂 繁・秋本 泰・高浜 洋(2000)海生生物の温度影響に関する文献調査. 海洋生物研究所報告, 2, 1-135.
 - 20) 山本正昭・川俣 茂(1994)干潟の物理環境(地温と地盤高の変動)の観測. 海岸工学論文集, 41, 1021-1025.
 - 21) 林 文慶・柵瀬信夫(1996)三浦半島江奈湾の干潟における熱環境特性. 海岸工学論文集, 43, 1206-1209.
 - 22) 水島雅文・曾我雅海(1987)干潟海域における熱収支の検討. 電力中央研究所報告, U87013.
 - 23) 朴 鐘和・中山哲巖・瀬戸昌洋(1996)干潟底生動物の生息環境に関する現地調査. 海岸工学論文集, 44, 1161-1165.
 - 24) 江口菜穂子・細川恭史・桑江朝比呂・三好英一・木部英治(1998)盤洲干潟における地中熱伝達の測定. 港湾技術資料, No.901, 1-16.
 - 25) 林 文慶・田中昌宏(2000)沿岸域干潟底質の熱環境の観測. 鹿島技術研究所年報, 第48号, 111-114.
 - 26) 船橋 学・赤松幸生・木戸活彦・井上公人・西部美可・野原精一・矢部 徹(2002)マルチステージ観測による干潟環境の把握, 空間情報技術の実践. (社)日本写真測量学会(編), 60-66.
 - 27) Reise, K. (1985) Tidal Flat Ecology, An experimental approach to species interaction. *Ecological Studies*, 54.
 - 28) 桑原久実・明田定満・小林 聡・竹下 彰・山下 洋・城戸勝利(2006)温暖化による我が国水産生物の分布域の変化予測. 地球環境, 11, 49-57.
 - 29) Elliott, J.M. (1981) Some aspects of thermal stress on freshwater teleosts. *In: A.D. Pickering, ed., Stress and fish*, Academic Press, 209-245.
 - 30) 古川 厚(1983)温度生理から見た温排水養魚の再検討(上). 水産の研究, 2, 59-61.
 - 31) 木下秀明(1985)アサリの卵・浮遊幼生・稚貝の高

- 温耐性. 海生研報告, No.85204, 1-38.
- 32) Valentin, H. (1952) 'Die Kuste der Erde' Patermanns Geographische Mitteilungen, Ergänzungsheft.
- 33) Holmes, A. and D. Duff (1993) Principles of physical geology. Thomas Nelson and Sons Ltd., U.K.
- 34) Jelgersma, S., T. Healy and E. Marone (2002) Relative sea level changes and some effects on muddy coasts. In: T. Healy, Y. Wang and J.-A. Healy, eds., *Muddy Coasts of the World: Processes, Deposits and Function*, 83-97.
- 35) 秋山章男(1988)干潟の底生動物. 栗原 康, (編), 河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー, 東海大学出版会, 85-98.
- 36) 金子是久・矢部 徹・野原精一(2005)東京湾小櫃川河口干潟における植生変化と立地条件. 景観生態学, 9, 27-32.
- 37) 延原 肇・宮崎英生・宮本 隆・斧山素一(1980)小櫃川河口の塩生地植物群落. 千葉県木更津市小櫃川河口干潟の生態学的研究 I, 東邦大学理学部海洋生物学研究室・千葉県生物学会(共編), 千葉, 69-94.
- 38) 大野啓一(1999) 感潮域に分布する塩生植生の生態と立地特性—三浦半島小網代干潟をフィールドとして—. 河川整備基金事業 感潮河川の水環境特性に関する研究, 河川環境管理財団, 東京, 59-71.
- (受付2006年7月28日, 受理2006年9月26日)