

# 日本生態学会関東地区会会報

2008. February 第56号

気候変動に伴う陸・湖沼・海の生態系の応答：時系列データからの比較からみえるものに関する

気候変動に伴う陸・湖沼・海の生態系の応答：時系列データからの比較からみえるものに関する



# 日本生態学会関東地区会報56号

## 目 次

### 2007年度日本生態学会関東地区会主催公開セミナー

「気候変動に伴う陸・湖沼・海の生態系の応答：時系列データの比較からみえるもの」記録

#### 趣旨

石井励一郎 (地球環境フロンティア研究センター) .....	1
1. 「極東・太平洋域の気候変動：観測事実と将来予測」	
中村 尚 氏 (地球環境フロンティア研究センター/東大・理) .....	3
2. 「海洋生態系と北太平洋の十年規模変動」	
千葉早苗 氏 (地球環境フロンティア研究センター).....	7
3. 「地域・地球環境変化と生態系応答：湖沼研究のタテとヨコから」	
占部城太郎 氏 (東北大・生命).....	11
4. 「森林の種子生産の長期変動－規則性と不規則性－」	
正木 隆 氏 (森林総研・森林植生).....	17
総合討論から.....	21

#### 活動報告とお知らせ

2007年関東地区生態学関係修士論文発表会講演一覧 .....	23
第28回 (2008年) 関東地区会生態学関係修士論文発表会開催のお知らせ .....	25
2007年活動報告 (2007年3月～12月) .....	26
2007年会計報告 .....	27

---

表紙写真「さまざまな生態系と生物」(千葉早苗氏・占部城太郎氏・正木隆氏提供)

裏表紙写真「気候変動予測に用いられるスーパーコンピューター (地球シミュレーター)」

## 本シンポジウム開催の趣旨

近年、気候変動に対するさまざまな生態系の応答についての議論が活発になっています。しかし観察される生態系の変動パターンをもたらす要因とメカニズムは複雑に込み入っており、気候変動の影響の程度と現れ方は系や観測対象・スケールによって大きく変化すると考えられます。

そこで第一線で活躍されている気候システムの研究者と陸域生態系、湖沼生態系、海洋生態系の各分野で時系列観測データを扱って研究されている生態学者を講師にお迎えして、それぞれの観察・観測結果から、気候変動が生態系に与える影響について最新の情報をご紹介いただき、地区会の皆様の理解を深めていただこうと考え、本シンポジウムを企画いたしました。

まず気候システムについての変動要因・メカニズムについては中村さんにご紹介いただき、その上で3つの各生態系について、それぞれの観測・観察結果に基づく時系列に沿ったトレンドや周期性などのパターンの紹介とその要因・メカニズムに関する考察を、千葉さん（海洋）、占部さん（湖沼）、正木さん（森林）にご紹介いただきました。各講演録のあとに、本シンポの最後の総合討論の時間での、気候変動と3つの生態系の変動についてのクロストークを抄録いたしました。

本シンポジウムを通じて皆様が気候変動と生態系間の相互作用について、各系の特徴や系間での現象・メカニズム両面でのつながりを考える材料としていただき、新しい視点や将来の協働の方向を探る機会となれば幸いです。

本シンポジウム企画運営を代表して

石井励一郎

# 極東・太平洋域の気候変動：観測事実と将来予測

中村 尚

JAMSTEC地球環境フロンティア／東大院理・地球惑星科学

日本を含む極東・北西太平洋域の気候は、アジアモンスーンの影響を強く受ける。冬季には大陸のシベリア高気圧と北東海上のアリューシャン低気圧との間に乾燥・寒冷な北西季節風が吹き、黒潮や対馬暖流から大量の熱と水蒸気を奪う。また、流入する寒気は南北気温傾度を強め、温度風平衡の関係から日本上空には特に強い西風ジェット気流が形成される。よって、寒候期には移動性の高低気圧が発達しやすく、明瞭なストームトラックが形成される (Nakamura et al., 2002)。一方、夏季には亜熱帯の小笠原高気圧から暖湿な季節風が吹き、降水量が増える。

このように明瞭な季節変化に特徴づけられる極東・北西アジア域の天候は、他の中高緯度域や熱帯からの遠隔影響、更には中緯度の海洋循環変動を受け、顕著な経年変動や10年規模変動を示す。例えば、冬季の天候は、エルニーニョ・南方振動 (ENSO) の遠隔影響を受け易い。これは、熱帯の海面水温の変動が積雲対流活動の変動をもたらし、そこで解放される凝結潜熱の変化が大気循環異常を引き起こし、その影響が中緯度にも及ぶためである (Horel and Wallace, 1981; Trenberth et al., 1998)。例えば、エルニーニョに伴い赤道中東部太平洋が温暖な冬には、亜熱帯高気圧が強まって、南日本では暖冬となる傾向にある。また、最近では、ラニーニャの影響によって東南アジアで活発化した積雲対流活動が2005年12月の記録的寒波に寄与した可能性も指摘されている (気象庁 2006)。

一方、1987年以降シベリア高気圧が弱まり、それまでの寒冬傾向から顕著な暖冬傾向へと転じた。この冬季アジアモンスーンの長期変動は、冬季の移動性擾乱を活発化させただけでなく (図 1; Nakamura et al., 2002)、東シナ海や黄海、日本海の温暖化ももたらした (Nakamura and Yamagata, 1999)。これは冬季モンスーンの弱化に伴い、海面での蒸発や顕熱フラックスが減少す

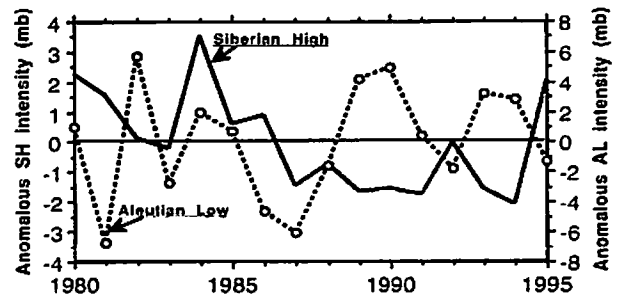


図 1. 1・2月平均したシベリア高気圧(実線)とアリューシャン低気圧(点線)の経年変動。各々の中心付近の気圧偏差(mb)。高(低)気圧は正(負)偏差が勢力が強い。Nakamura et al. (2002, J. Climate)より。

るとともに、海洋表層での混合も弱まった結果と解釈できる。実際、これら縁辺海では20世紀の間に顕著な昇温が観測されたが、それは寒候期にのみ顕著である (気象庁2007)。一方、これら比較的浅い縁辺海とは異なり、黒潮海域では季節に依らず昇温が観測されており、黒潮の強化など力学的な要因が示唆される。

また、三陸沖の水温には10年規模変動が卓越するが、中緯度北東太平洋の長期水温変動とは対照的に、熱帯太平洋の水温の長期変動との同時相関が弱いのが特徴である (Nakamura et al., 1997; Nakamura and Yamagata, 1999)。これは、三陸沖の海水温の長期変動が、エルニーニョ・ラニーニャ現象による遠隔影響に伴った年々変動とは異なり、熱帯からの遠隔影響ではなく、中緯度海洋循環の長期変動の反映であることを強く示唆している。この海域は、北太平洋の亜熱帯・亜寒帯両循環系の境界を成す亜寒帯海洋前線帯に当たっており、海面水温の南北傾度が顕著な海域である。東西に伸びる水温偏差はこの海洋前線帯の南北移動によりもたらされる (図 2; Nakamura and Kazmin, 2003)。例えば、1970年前後の温暖期には前線帯が北上し、逆に1980年代半ばの寒冷期には南下していたのである。この変位の緯度幅は3°程度である。海洋の中規模

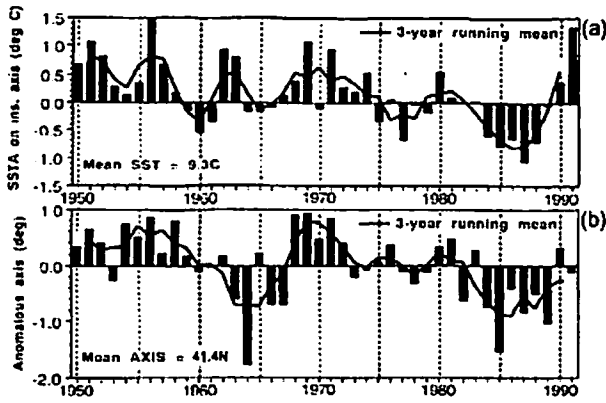


図2. 三陸沖の亜寒帯前線軸上の冬季(a)海面水温偏差(°C)と(b)前線軸の緯度偏差. Nakamura and Kazmin. (2003, JGR)より.

渦を解像できる海洋大循環モデルOFES (Ohfuchi et al., 2007) においては、渦からのフィードバック強制により維持される黒潮・親潮の両続流やそれに付随する海洋前線の3次元構造が良く再現されており、黒潮続流に沿って深い構造をもつ前線(36N)と親潮続流に沿う浅い前線(42N)とから成る複雑な構造を持つことが示されている(Nonaka et al., 2006). このうち、後者の南北移動が表層水温の長期変動に卓越することも示された(Nonaka et al., 2006).

上記の変動の多くの部分は、地球の大気・海洋系の内部力学によって生ずる気候の自然変動の現れである。しかし、本年公表された気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第4次報告書(AR4)においては、温室効果ガスの増加の影響により、今世紀末までには極東・北西太平洋域でも明瞭な温暖化と降水量の増加が夏冬を問わず予想されている(図3)。前述された、近年の冬季アジアモンスーンの弱化や20世紀を通じた日本近海の温暖化については、その一部は既に温暖化シグナルの現れなのかも知れない。例外的な南日本を含む北西太平洋亜熱帯・暖温帯域の冬季の乾燥化は、赤道太平洋の水温上昇が東部ほど著しく、エルニーニョ的な平均状態へと変化する傾向への大気応答に伴う亜熱帯高圧帯の強化の影響と解釈できる。また、この大気応答により、アリューシャン

低気圧が東偏するものの、その強度を維持される傾向が予測されているのは興味深い。

ただし、IPCC-AR4の複数の大気海洋結合モデルのアンサンブル予測結果の解釈には注意を要する。例えば、殆どの海洋モデルは解像度が粗いため、中規模渦を表現できず、そのフィードバックで維持される海洋のジェット(黒潮・親潮の両続流など)の強さや緯度が、20世紀気候の再現実験においてきちんと再現されていない。例えば、多くのモデルでは黒潮が北海道・千島列島沖まで北上している一方、親潮を含む北太平洋の亜寒帯循環系は著しく弱化してしまっており、これらの境界にあたる亜寒帯前線帯の緯度や水温・塩分傾度の再現性に深刻な問題を抱えている。よって、こうしたモデルで今世紀末の予測を行なっても、海洋生態系にとって重要な北西太平洋亜寒帯前線域の変化が正しく予測されているか甚だ疑問である。更に、海水の扱いにも問題が多い。モデル内での氷の力学的・熱力学的性質の表現にはまだまだ問題がある。また、海水被覆は太陽放射への海水の反射率に敏感で、これを調整パラメータとしてある特定の海域での海水被覆を現実と近づけたモデルでは、別の海域での海水被覆が現実と大幅に異なっている場合がある。これは雲など別の要

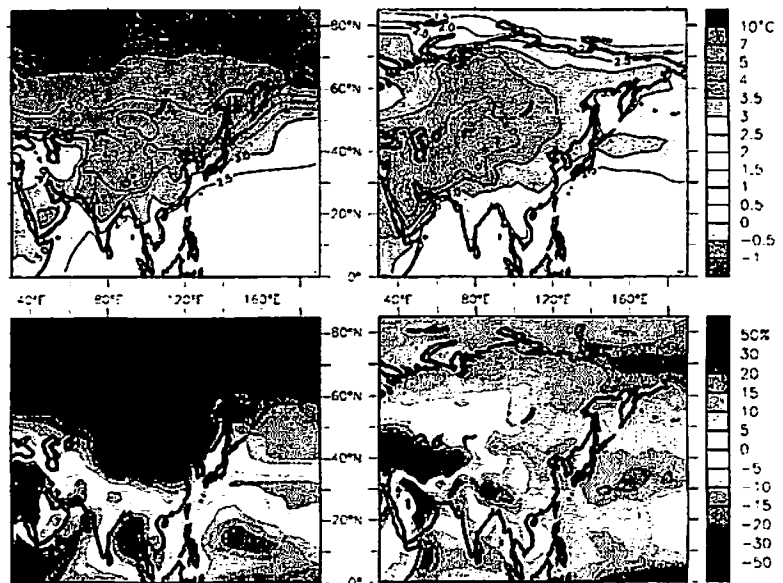


図3. 複数の大気海洋結合モデル実験の平均として、21世紀内に予想されるアジア・西太平洋域での気温(上段)・降水量(下段)の変化の分布、冬季(12~2月;左)と夏季(6~8月,右). 気温変化(°C)と降水量の変化(%)の表示は右隅. IPCC-AR4 (2007)より.

因で海面熱収支がバランスしないのに、海水の反射率を変化させて熱エネルギー収支を無理矢理合わせようとした「しわ寄せ」が他海域に現れてしまったためと考えられる。こうした海域では、温暖化に伴う海氷被覆の減少が過大に、あるいは過少に評価されていることになる。よって、IPCC-AR4の結果に基づき、海洋の生態系の変化を予測する際には、20世紀再現実験の結果と観測結果をよく対比した上で行なうことが肝要と思われる。

一方、全ての大気モデルでは、積雲・積乱雲の振舞いは格子点スケール(300~400km)の状態量に基づくパラメタリゼーションに基づき表現されているため、雲形成に与る微物理過程は露に表現できない。また、降水は地形によって生ずる気温や鉛直流の地域性に敏感であるが、IPCC-AR4の数値モデルでは水平300~400kmスケールより細かな地形は解像できないので、こうした地形性降水も表現できていない。IPCC-AR4の結果に基づき、陸上生態系の変化を予測する際には、こうした点に留意した上で、全球大気循環モデルの結果を利用することが肝要と思われる。

最後に、今後予想される温暖化(トレンド)と大気海洋系の内部力学に伴う自然気候変動との関連について幾つか申し述べたい。その1つは、自然変動は温暖化シグナルにとってのノイズに過ぎないというのは誤った認識だということである。確かに、観測データやモデル予測データの時系列から、統計的に後者を抽出してその有意性を検証する際には前者はノイズとなる。しかし、温暖化シグナルが第一義的に気候系の平均状態の長期的変化に見出されるものであり、かつ自然変動の振舞いとその平均状態に依存する事実を考えれば、自然変動の変調も温暖化シグナルの別な側面であることが容易に理解できよう。例えば、温暖化に伴いエルニーニョの強さや代表周期に如何なる変調が見られるか、更にはその中緯度への遠隔影響が偏西風の強さや緯度の変化に伴ってどのように変わるのかといった観点から温暖化した将来の気候の予測を吟味する必要がある。これは、北西太平洋の10年規模変動についても同様である。

一方、生態系にとっては、温暖化に伴い生存可能な環境条件が一定期間でも満たされなくなれば、

その生存が危うくなる。例えば、高温や乾燥への耐性に限界のある生物にとっては、温暖化に伴う夏季の平均的な気温上昇や乾燥化の進行下においては、気温や降水量の経年変動や季節内変動の振幅がさほど大きくなくても耐性の臨界値に達してしまい、生存の危機に曝される可能性を意味する。温暖化に伴う気候状態の変化によって、こうした経年変動や季節内変動が増幅する傾向にあれば、耐性の臨界値を超える危険性は一層高まる。一方、ある時期に特定地域において、温暖化トレンドに逆行する異常気象が自然気候変動に伴い偶発することで、ある生物の生存可能な環境条件が脅かされる可能性もある。例えば、低温への耐性のさほど強くない生物種が、温暖化に伴い中緯度のある地域で生息するようになってきた段階で、ある冬に異常寒波が襲来したことでその生存が危うくなる可能性もある。また、冬季モンスーンの弱体化に因って極東中緯度の湖沼や海洋における冬季の混合が弱まる傾向のなか、(2005年12月のような)異常寒波の襲来によって混合が一時的に回復した場合、表層下まで酸素の供給が一時的なされるものの、翌冬以降に再び混合が弱まって酸素供給が再び途絶えてしまえば、表層下に一時的に増殖した生物は死滅の危機を迎えるかも知れない。これに関するより具体的な説明は、本講演会における占部氏(東北大)による講演の要旨を参照されたい。

#### 参考文献

- Horel, J. D., and J. M. Wallace: *Mon. Weather Rev.* (1981).
- 気象庁: (2007) [http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/shindan/a\\_1/japan\\_warm/japan\\_warm.html](http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/shindan/a_1/japan_warm/japan_warm.html)
- Nakamura, H., et al.: *Bull. Am. Meteorol. Soc.* (1997).
- Nakamura, H., and T. Yamagata: "Beyond El Niño: Decadal and Interdecadal Climate Variability", A. Navarra, Ed., Springer (1999).
- Nakamura, H., et al.: *J. Climate* (2002).
- Nakamura, H., A. S. Kazmin: *J. Geophys. Res.* (2003).
- Nonaka, M., et al.: *J. Climate* (2006).
- Ohfuchi, W., et al.: *Bull. Am. Meteorol. Soc.* (2007).
- Trenberth, K. E., et al.: *J. Geophys. Res.* (1998).

## 海洋生態系と北太平洋の十年規模変動

千葉早苗

JASMTEC 地球環境フロンティア研究センター

## 動物プランクトンを用いたレトロスペクティブ研究

イワシやニシンなどの浮魚資源が数十年の周期をもって増減を繰り返すことは古くからよく知られてきた。しかし90年初頭にそれらの周期的変動が世界中の海域において同期していることが報告されると、地球規模の気候変動に対する海洋生態系の応答の現れとして注目を浴びるようになる。高次捕食者である魚と気候との間には多くの生物・非生物のプロセスが介在することから、水産資源変動のメカニズムの解明のために、長期的に保存されている動物プランクトンサンプルを海洋観測データとあわせて時系列解析する試みが90年代後半から世界各地の研究所で実施されてきた。また、IPCCの第4次報告書でも強調されたように人為起源による地球温暖化傾向が疑いの余地のないものとなった現在、その海洋生態系への影響のみならず、生態系の変化にともなう地球環境へのフィードバックを見積もることは温暖化研究の課題となっている。よって、地球環境の視点からも、海洋の温暖化ガス吸収に関与するプランクトンの変動メカニズムの解明が待たれている。日本においては、水産研究センターが50年代よりわが国周辺海域で採集し保存している動物プランクトン標本群、通称「オダテコレクション」がある。私たちのグループでは「オダテコレクション」を詳細に解析することにより、気候—海洋環境—海洋低次生態系とつながる変動のプロセスを探ってきた。

## 西部北太平洋の十年規模変動生物季節的变化と生物地理分布の変化

北太平洋にはアリューシャン低気圧と深い関係のある数十年規模の水溫偏差があることが知られている。50年代以降の親潮域の動物プランクトン生物量の変化は約20年の周期で変動し、北太平洋十年規模変動指標 (PDO) と有意な相関を示

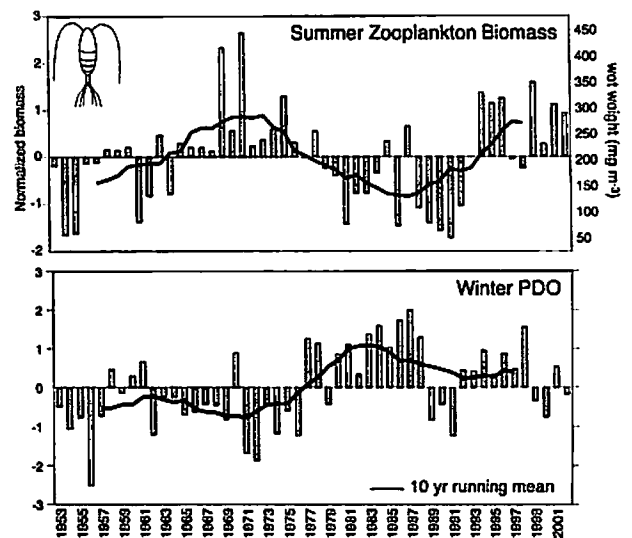


図1. 50年代以降の親潮域の動物プランクトン生物量(湿重量)の経年変化(上)と北太平洋十年規模変動指標(PDO)(下)。両時系列は高い相関を示す。(R=0.843)。西部北太平洋においてはPDOの正の値は冬季の寒冷化を負の値は温暖化を示す。

した(図1)。

しかし、種組成レベルで、さらに季節性に注目して詳しく調べると、その変動は単なる生物量の変化ではなく、生物季節的变化を伴っていることが解った。例えば、1976年の気候のレジームシフトを境にアリューシャン低気圧の勢力が強化したのに伴い、冬季の西部北太平洋が寒冷化し、春季ブルームのタイミングが1~2ヶ月ほど遅れたことが示唆された。一方夏は逆に温暖化しており、成層化が進んで栄養塩の供給が制限され生物生産が低下した。夏の水溫は北極振動と有意な関係があり、温暖な傾向は1988年のレジームシフトで極渦に変化が現れるまで続いた。つまり、70年代半ば~80年代終盤には冬の寒冷化と夏の温暖化の影響で生物生産に適した期間がその前後より短かったことになる。このことから冬と夏にはそれぞれ異なる十年規模の気候フォーシングが働き、年間の生物生産が左右されることが分かった。一方1990年代以降には76~88年とはまったく逆

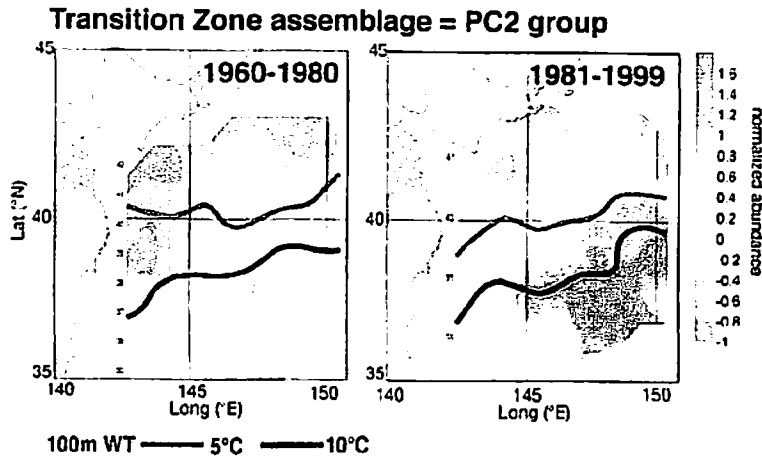


図2. 80年代以降三陸沖において暖水性動物プランクトン種 (PC2 group) の分布が北進するとともに親潮域における生物量が増加した(赤で示した部分)。緑線は親潮域の南限を示す。

の状況、つまり「暖冬冷夏」な環境が顕著となり春季ブルームのタイミングが早期化し生物生産に適した期間が長期化した。90年代の冬季温暖化傾向と春季ブルームの変化は76年以前と比較しても顕著であり、ここ数十年の温暖化トレンドに対する海洋低次生態系への生物季節的応答を示すものである。

次に生物地理分布の変化に関しては、北太平洋の気候の十年規模変動に伴う親潮と黒潮の変化が海域のプランクトン分布と組成に影響を与えていることが明らかになった。1976年アリューシャン低気圧の強化により親潮が南下し、大型の冷水性動物プランクトン種の分布の中心が南方沿岸寄りになった。一方で数年遅れて黒潮流量が増加し、三陸沖合では黒潮に特徴的な小型の暖水性種が増加し、近年まで同様の傾向にある(図2)。親潮域を含む西部北太平洋亜寒帯域は、1) 生物活動による深海への炭素輸送、いわゆる「生物ポンプ」の働きが大きく、2) 水産資源の豊かな海域であり、炭素循環と水産業両面において動物プランクトンの役割が重要視される海域である。冷水大型種と暖水小型種の生態学的役割は異なることから、長期的な生物地理分布の変化が海域の食物網や炭素循環に与える影響が示唆された。

上記のようなレトロスペクティブ研究の結果、海域毎の生態系変動メカニズムに関する知見が20世紀末までに蓄積されてきた結果、アリューシャ

ン低気圧、極渦、ENSOサイクルといった大規模気候フォーシングに対する生態系の応答は緯度により海域により特徴的であることが明らかになってきた。今世紀以降は、それらの知見を統合し地球規模の気候—海洋生態系変動の概要をつかもうとするシンセシスのフェイズに入っている。そのような流れの中で2003年度より海洋研究科学委員会(SCOR)のもとWorking Group 125: Global Comparison of Zooplankton Time-seriesが設置され、日本を含む長期動物プランクトンサンプルを有する世界数十カ国の研究所の協力のもと、気候変動に対する海洋低次生態系の応答過程の地球規模比較が実施されている。その結果ここ数十年間における春季ブルームの早期化と暖水性種の分布の北進は、東部亜寒帯北太平洋や北大西洋でも共通してみられる現象であることがわかり温暖化を含む地球規模変動との関係が示唆された。温暖化に伴う生物季節的変化と生物分布の北進についてはIPCC第4次報告書特では陸域生態系についてのみ指摘されている。海洋低次生態系の変化については「将来海洋大循環が滞ったときに大きな変化がおこる」とされているのみであるが、我々の研究結果は海洋生態系においても同様の現象がすでに現在進行形であることを示すものである。

#### 陸域・海洋生態系変動は同期しているか？

シンセシスの次のフェイズは陸域・海洋生態系



変動を総合して理解することであろう。私たちのグループでは衛星データや安定同位対比の解析に基づき、シベリア植生と北太平洋の低次生態系変動の比較研究を2007年度より開始した。1950年以降のバイカル湖と西部北太平洋のサケ科魚類のウロコの炭素安定同位対比を測定した結果、数十年周期でほぼ同様に変化していることがわかった(図3)。両者とも70年代初めにピークがあり、80年代の寒冷期には値が低下した。シベリアと西部北太平洋は前述したアリューシャン低気圧やシベリア高気圧の影響下にあることから、上記の変化は北太平洋における共通の数十年規模の気候フォーシングに対する環境および生態系変化が食物網を介して陸と海で同時に表れたものと考えられる。しかし、両者の90年代のピークには数年のラグがあり、また窒素安定同位体比に関しては

その変動パターンが異なることも明らかになった。今後は西部北太平洋、バイカル湖の生態系及び両魚種の生態学的類似点と相違点を考慮した上で、見いだされた周期変動のメカニズムを明らかにしていきたい。

衛星データを用いた研究からは、シベリア大陸と北太平洋の特定の地域・海域の生物季節的变化がENSOスケールの経年変化と特に有意な関係があることが解ってきた。ENSO変動は低緯度で特徴的な現象であり、それがどのようなメカニズムにより高緯度の特定域の生態系に影響するのだろうか。また、生物生産タイミングのずれは地域・海域の生態系や炭素循環にどのような影響をもたらすのだろうか。そのような課題を解明するためには、今後陸域・海洋というフィールドを越えた研究者間の協力が一層必要となろう。

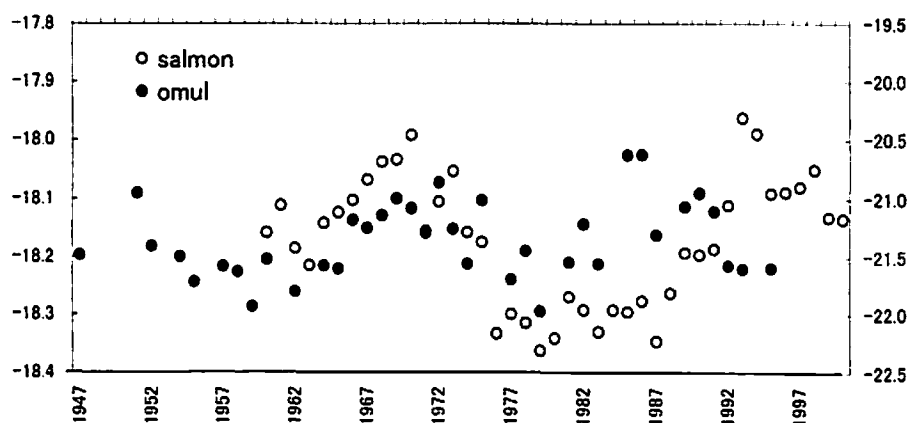


図3. 西部北太平洋のカラフトマス(○)とバイカル湖のオームル(●)の鱗の炭素安定同位体比( $\delta^{13}C$ )の経年変化。トレンドは除去。

## 地域・地球環境変化と生態系応答：湖沼研究のタテとヨコ

占部城太郎・槻木(加)玲美

東北大学大学院生命科学研究科

人間活動の高まりにより、生態系の様々な諸側面が変容してきたと考えられている。変容する過程と変容前の過去の生態系の姿を知ることは、知的好奇心をくすぐるだけでなく、将来を展望し、生態系をいかに保全すべきか不可欠な視点である。しかし、生態系モニタリング、特に生物に関する定期的な観測・観察は、変容の深刻さが認知されて以後に開始されることが多く、変容以前の生態系や生物相がどのようなものであったか、科学データの上で伺い知ることは、一般に困難なことが多い。また近年では、注目している生態系の変容が、例えば極域のように、気候など広域的な環境変化に起因する例も示されている。しかし、陸域にみられる多くの生態系では、それをとりまく地域の人間活動の影響に直接・間接的にさらされているため、生物の経時的変動要因が地球環境変化によるものなのか、地域的な環境変化によるものなのか、あるいはその生態系特有の局所的な環境変化によるものなのか、特定することは困難であることが多い。さらに、近年の研究では、生物はある環境要因に対してすみやかに進化（遺伝子頻度の変化）することが明らかにされつつある。これは、環境変化に対する生物の応答が集団として非線形であり、それゆえ環境変化と生物応答の解析には非線形の中身がわからないと、誤った予測を導く恐れのあることを示唆している。

本稿では、過去の生態系の姿とその変容過程を調べるための古陸水学的アプローチの潜在的な有用性を述べ、琵琶湖での研究例を紹介しつつ、今後、環境研究においてさらに必要とされる生物進化の視点を紹介するとともに、錯綜する環境影響を紐解くための戦略的なモニタリング研究の重要性について述べる。

### “新” 古陸水学

湖沼、及びそれを取り巻く集水域生態系で

は、モニタリングデータがなくても、古陸水学 (Paleolimnology) によるアプローチにより過去の環境状態や生物群集を復元することが有る程度可能である。古陸水学では比較的長い歴史軸 ( $10^3 \sim 10^6$ 年) を対象に、湖堆積物に残る珪藻遺骸や花粉などを用いて過去の気候や集水域の植生の変遷、湖沼環境を復元してきた。近年では、例えば食物網理論や安定同位体科学、分子生物学における最新の知見や手法を取り入れ、人間活動の生態系への影響が強く顕在化する近過去 ( $10^2 \sim 10^1$ 年) の生態系の変遷についても精度良い復元を可能にしている (Jeppesen et al. 2001, Smol & Douglas 2007)。さらに、このような従来の生態学的手法ではアプローチすることが困難であった長時間軸の知見は、生態学や進化生物学の理論そのものの検証にも用いられるようになってきている (Leavitt et al. 1989, Decaestecker et al. 2007)。古陸水学は地域・地球レベルの環境変化とその原因を特定し将来の環境変化を予測する強力な分野であるとともに (例えばIGBP-PAGES: <http://www.pages.unibe.ch/index.html>)、今見ている生態現象の理解や理論研究の検証にも不可欠なアプローチとなっている。古陸水学的アプローチから見ると、湖底堆積物は時経列に沿った“収蔵庫”の“標本”であり、その標本からいかに生物学的に有用な“新しい情報”を抽出するかは個々の生物の知見に加え、生物地球科学や分子生物学の手法の発展に大きく依存している。現在広く利用されている“標本の抽出項目と得られる情報は、気候・大気降下物などの広域的な情報から種個体群の進化・移入などの局所的情報まで広範囲にわたり、要約すると以下のようなものである。

花粉：周囲植生、気候

珪藻遺骸：湖沼の栄養状態、沿岸環境、水質等

ミジンコ類の遺骸（尾爪や甲殻片）：食物網構造、

沿岸環境

ユスリカ幼虫の遺骸：湖底酸化還元状態、周囲植生、沿岸環境

光合成色素：藻類群集構造、栄養状態（生産力）

安定同位体：物質循環、エネルギー起源、大気降下物

各種有機物：湖沼代謝、周囲植生

ミジンコ休眠卵・微生物シスト：遺伝情報（移入、進化）、生活史特性

生物地球科学（分析化学、安定同位体科学）や分子生物学的手法の発展にともなって、抽出項目と得られる情報とその精度はさらに増大すると考えられ、特に休眠卵や微生物のシストへの分子生物学的手法の適用は、遺伝レベルでの環境応答を追跡出来るため、後述する環境変化に対する進化的応答の把握と理解に大きく貢献するだろう。

琵琶湖の100年

我が国において生物の長期モニタリングが行われてきた代表的な生態系の一つは琵琶湖である。我が国最大の湖である琵琶湖は、成立が4百万年前に遡る古代湖であるため多くの固有種が生息する一方、近畿圏14百万人の水瓶として経済的にも重要な湖である。大きさでは世界で184番目（大きさをどのように定義するかによって、順位はあいまいである）とも言われているが、経済的には世界でも最重要な湖沼の一つである（14百万人は世界人口の0.2%、すなわち世界の500人に一人が琵琶湖の水に依存している！）。このため、早くから水質・生物モニタリングが京都大学や滋賀県により行われてきた。それでも、系統だった定期的な生物モニタリング調査は、京都大学（大津臨湖実験所：現生態学研究センター）は1965年から(Mori et al. 1967)、滋賀県では1979年からの実施である。琵琶湖集水域の土地利用は、1960年の国民所得倍増計画に沿った国土総合開発基本法の制定により、1965年から始まる近畿圏整備計画、さらに1972年からの琵琶湖総合開発により大きな変貌をとげ、その結果として琵琶湖では富栄養化が進行した。京都大学のモニタリングは漠とした長期変動についての科学的興味に

より開始したものであり (Mori et al. 1967)、滋賀県のモニタリングは富栄養化しつつある湖水の水質監視を主目的としていた。全リン濃度などから琵琶湖は中栄養湖と位置付けられているが (Tezuka, 1992)、かつては水の清む（どこでも楽しく泳げる）貧栄養湖であったと言われている。しかし、上記したようにモニタリングを開始したのは、富栄養化の進行途上あるいは顕在化した後であるため、富栄養化が起こるまえの琵琶湖の生物群集がどのようなものであったか、科学データの上ではきわめて断片的な知見しかなかった。

そこで私達は古陸水学的アプローチにより、富栄養化以前の琵琶湖の生物群集を復元する試みを行った (Tsugeki et al. 2003)。一般に、貧栄養湖沼では *Daphnia* (ミジンコ) などの大型の動物プランクトンが卓越することが多いため、琵琶湖においても1960年代以前には *Daphnia* が卓越しているのではないかと予想していた。しかし、結果は意外なものであった。ミジンコ類は、1960年以前は全般的に少なく、富栄養化が進行した1960-1970年代に劇的に増加していたのである (図1)。一方、1960年以前は底生性のピワツボカムリ (*Diffugia biwae*) や海綿類が多くみられ、ミジンコ類とは対象的に1960-1970年代に激減していた。これは1960年代以後に湖底環境が悪化したこと、言い換えれば1960年以前の琵琶湖は底生生物にとって確かに好適な環境であったことを示している。1960年代以後のミジンコ類の増加は、富栄養化（栄養塩負荷の増大）により餌となる藻類が増加したためとも言えるが、ミジンコ類の特性や生態学の理論を考えると、それだけでは十分な説明とは言えない。ミジンコ類、特に *Daphnia* は魚類に最も捕食されやすい動物プランクトンであり、生態学の単純な3者系理論によれば、基礎生産の増加は植食者の生産を増やすが、増えた分だけ捕食者により食べられるので植食者の現存量は頭打ちになるはずである。富栄養化にともなってミジンコ類（の現存量）が増加したことは、基礎生産の増加が動物プランクトン捕食者である魚類まで伝搬していないこと、すなわち食物網のエネルギー寸断が起こったことを示唆している。1960-1970年代にかけ

て生じた琵琶湖をとりまく変化は、栄養塩負荷の増大だけでなく、自然湖岸や内湖の著しい減少である (Nakanishi & Sekino 1996)。沿岸域は琵琶湖に生息する魚類にとって主要な繁殖場所であり、水草の生い茂る浅い自然湖岸の減少は魚類個体群の密度維持にとって致命的である。このような、1960-1970年代の富栄養化による餌となる藻類の増加と、同時に進行した魚類密度のボトルネックとなる湖岸の人工化や内湖埋め立てが、ミジンコ類の密度増加を引き起こしたのではないかと私達は考えている (Tsugeki et al. 2003)。近年では、過去の人工湖岸改変の反省にたち魚類の繁殖を促すため自然湖岸を再生する事業が進みつつある。しかし、同時に栄養塩負荷を一層削減しなければ過去の生態系を取り戻すことは出来ないであろう。琵琶湖集水域では、下水道整備により栄養塩の点源負荷は減少しつつあり、負荷源の主要因は面源に移りつつあるという (例えば、國松 1997)。もし、ミジンコ類増加についての解釈が正しいのであれば、琵琶湖生態系の保全にあたって湖岸の再生とともに、面源負荷をどのように削減していくかが重要な鍵になると言えるだろう。

### “眠らない” ミジンコ

ミジンコ類 (Cladocera) は、通常単為生殖により繁殖するが、急激な個体群の増加とそれともなう餌不足に陥ると、有性生殖を行う。有性生殖によって産まれた卵は卵鞘という甲殻が変形した鞘につつまれ休眠卵となり、湖底に堆積したり湖岸に漂着する。この休眠卵は浮遊生活に不適な時期を乗り越えたり、風や水鳥などによって分散したりする機能をもっている (Bronmark & Hansson 2005)。卵鞘は湖底堆積物に保存されるため、遺骸と同様に、過去を知る重要な手掛かりとなる。上記の琵琶湖の堆積物を詳細に調べたところ、*Daphnia*では浮遊個体数は増えているものの、驚くべきことに1980年以後、休眠卵の産卵が殆ど行われなくなっていることが判った (Tsugeki 2005)。琵琶湖では、*Daphnia*にとって1年を通じて最も厳しい季節は、おそらく水温が低く、餌 (藻類) が乏しくなる冬であろう。休眠卵を産卵しないにもかかわらず、変わらず高

い個体群密度を維持していることは、*Daphnia*にとって冬が厳しくなくなったことを示唆する。実際、京都大学が1965年以降実施してきた定期調査サンプルを調べたところ、ここ30年の間に*Daphnia*の浮遊越冬個体が増える傾向が認められた (Tsugeki 2005)。温暖化は、特に冬の温度上昇が顕著であり、琵琶湖でもここ数十年の冬の水温上昇が顕著である (Hayami & Fujiwara 1999)。冬の水温上昇は、温度そのものの影響よりもむしろ、湖水の鉛直循環強度を変えることで藻類組成に影響を及ぼす可能性があり、これと符合するようにここ30年の間、琵琶湖の冬の藻類組成は、鉛直循環が卓越する場合に優占する大型珪藻から、湖水が停滞しても自らを定位できる遊泳力をもつ小型のべん毛藻類へと変化している (Tsugeki 2005)。冬期に優占していた大型珪藻は*Daphnia*にとって摂食し難い藻類であり、一方小型べん毛藻類は摂食しやすい質的に良い餌である。冬期水温1~2℃の変化が*Daphnia*の生残を劇的に改善し浮遊越冬を可能にしたとは考え難い。むしろ、このような温度変化に伴う鉛直循環の変化が餌環境の変化を通じて*Daphnia*の浮遊越冬を可能にしたと考えるほうがよさそうである。それにしても、なぜ*Daphnia*は休眠卵を産まなくなったのだろうか。その理由として、まだよくわかっていない環境因子間の季節的な不一致あるいは季節不順により休眠卵を産卵するための環境刺激が無くなったこと、他の可能性として個体群の組成が休眠卵を産みやすい遺伝子型から休眠卵を産みにくい遺伝子型に変化したことがあげられる。前者の場合、春~秋にかけての季節不順のマイナス効果 (休眠卵産卵の停止) が、冬のプラス効果 (浮遊越冬可能) によって相殺され個体群が維持されていることを意味している。後者の可能性を支持するものとして、休眠卵の産卵のしやすさがクローンによって異なることが示唆されている (Tessier & Caceres 2004, Tsugeki et al., unpubl.)。休眠卵を産卵する間は単為生殖出来ず個体数を増やせないため、休眠卵を必要とする期間の有無は選択圧に成り得るだろう。そうだとすれば、温暖化は個体群密度ではなく、個体群の遺伝子組成の変化、すなわち進化を引き起こしてい

ることになる。どちらの可能性が妥当であるのか、あるいはどちらも妥当でないのか、現在解析を進めているところである。いずれにしても、休眠卵の産卵の減少は、*Daphnia*では有性生殖の機会であるため、遺伝的多様性を減少させることになる。遺伝的多様性が不確実な環境変化に（進化などを通じて）適応するための備えだとすれば、遺伝的多様性の減少は、浮遊越冬し良く繁殖している*Daphnia*にとってあまり好都合なものとは言えないかも知れない。

なお、この琵琶湖における*Daphnia*休眠卵の研究 (Tsugeki 2005) は、原著論文としてまだ公表していない。したがって、可能性の一つとして読んでもらいたい。

### 環境変化・進化・適応

とは言え、近年の研究によれば、少なくともプランクトンなどの比較的世代交代の早い生物では、いわゆる進化がかつて想像していたよりも迅速に起こることが明らかにされつつある。例えば、Van Dooslaer et al. (2007)によれば、由来が同じ*Simocephalus* (オカメジンコ) を外気温度とそれより2~6℃高い温度で1年間にわたって繁殖させたところ、高い温度で繁殖させた個体群の個体は通常温度で繁殖させた個体群の個体よりも、高温での生残率が遥かに高くなったという。このような結果は世代を超えて見られることから、Van Dooslaer et al. (2007)は*Simocephalus*が進化し温度適応したと主張している。また、温度応答とは異なるが、かつて富栄養化によりアオコ (*Mycrocystis*:しばしば毒性を持つ) の繁茂が著しかったコンスタンツ湖において、堆積物から*Daphnia*休眠卵を採集し孵化させて実験を行ったところ、富栄養化当初の頃の*Daphnia*はアオコに対する抵抗性が弱かったものの、20年後には同じ*Daphnia*種のアオコに対する抵抗性が強くなったという (Hairston N. G., Jr., et al. 1999:他の“進化”の起こりやすさの例や、その生態学的なコンテキストでの意味と波及効果は、Yoshida et al. 2007による総説が秀逸なので、それを参照されたい)。

このような生物の進化は、環境変化の生態系へ

の影響を緩和するように働くので見逃せない。従来の研究では、今見ている生物個体あるいは個体群を対象に実験を行い、その応答から環境変化の影響を捉えがちであった。しかし、もし進化を通じて抵抗性が生じたり、あるいはそのような個体に移入するのであれば、生態系を変化させる環境要因変数の閾値は幾分大きく、あるいは環境変化影響を従来よりも楽観的に考えることが出来るかもしれない (生物の秘めたる力を信じる)。但し、琵琶湖固有種ピワツボカムリのように、急激な環境の変化に適応しきれずに、ほとんど生息できなくなった種類も存在する。従って、楽観的になるまえに、個々の種 (あるいは生物群) はどのような環境変化の大きさや速度に対して進化が可能になるのか、進化できず絶滅するのか、という観点からの実験や理論研究が必要である。その野外での実証には、上述した“新”古陸水学 (ある地点の時間軸に沿ったタテの研究) が大きく貢献すると期待される。また、生息環境が異なる生息場所から得られた同種個体や個体群を用いて種間相互作用を含む環境応答を調べ、その違いの大きさや生理的特性を綿密に比較することも (空間軸に沿ったヨコの研究)、どのような遺伝的・進化的変化が環境変化影響を緩和させるかを調べる効果的なアプローチである。このような視点を持つ研究は、生態学のさらなる理論の発展だけでなく、環境変化に対する生態系の応答の理解と予測に不可欠な情報を提供するだろう。

### 環境変化影響を紐解くために

生態系に及ぼす環境要因 (driver) は、温度や二酸化炭素上昇などの地球規模のものから、大気降下物や外来生物の侵入・伝搬などの地域的なもの、集水域の人間活動といった局所的なものまで様々である。したがって、長期モニタリングを実施しても、生態系や生物群集の変化要因が必ずしも特定出来るとは限らない。環境要因の変化のタイミングと生態系 (あるいは生物) の側の変化のタイミングが、生物進化や複雑な相互作用のために一致するとは限らないし、温暖化のようなプレス要因により生じている長期的トレンドが、例えば移入種による攪乱といった間欠的なプレス要因のた

め見えなくなる場合もあるだろう。さらに、集水域の人間活動の変化が、地球規模の変化影響を凌駕している場合もあるだろう。このような錯綜する要因を紐解く一つの方法は、生態学の最も古典的な方法、比較である。地球温暖化影響は広範囲に渡る影響であるため、集水域の人間活動が希薄な湖沼を複数調べ、同じような変化傾向の有無を調べることで生態系への影響を抽出することが出来る。例えば、もし*Daphnia*が温暖化のために休眠しなくなったのであれば、似たような湖水の成層・循環構造をもつ湖沼でも休眠しなくなっているはずである。また、琵琶湖のような集水域の人間活動が密な湖と比較することで、局所要因と広域的な要因の交互作用影響も検出できるかもしれない。湖沼をとりまく集水域は、山岳地帯のように直接的な人為的影響が少ない場所もあれば、すべてが人為活動に利用されている場所もある。土地利用や被覆は、それ自体が実験の処理区として位置付けることが出来、異なる複数の処理区間の比較により錯綜する環境変化要因の生態系への影響を紐解く機会を与える。地球規模の環境変化と地域や局所特有の環境変化要因の複合作用を考えると、このような異なる生態系間の比較（ヨコの研究）をツールとした戦略的な長期モニタリングとデータ解析（タテの研究）が必要である。

本稿は、2007年11月10日に開催された日本生態学会関東地区会・地球環境フロンティア研究センター共催公開シンポジウム「気候変動に伴う陸・湖・海の生態系の応答：長期観測時系列デー

タの比較からみえるもの」での講演内容を執筆したものである。講演と執筆の機会を下さった和田英太郎地区会長、コンビナーの石井勲一郎博士に感謝いたします。

#### 引用文献

- Bronmark, C. & L.-A. Hansson (2005) *The Biology of lakes and Ponds*, Springer (湖と池の生物学、共立出版)
- Decaestecker E., et al. (2007) *Nature*, 450: 870-873.
- Hirston N. G., Jr., et al. (1999) *Nature*, 40: 446.
- Hayami, Y. & T. Fujiwara. (1999) *Oceanogr. Jpn.*, 8: 197-202.
- Jeppesen, E., et al. (2001) *TREE*, 16: 191-198.
- 國松孝男(1997) *環境技術*, 28: 480-484.
- Leavitt, P. R., et al. (1989) *Limnol. Oceanogr.*, 34: 700-717.
- Mori, S., et al. (1967) *Mem. Fac. Sci. Kyoto, ser B.*, 1: 36-40.
- Nakanishi, M. & T. Sekino. (1996) *Geojournal* 40: 63-67.
- Smol, J. P. & M. S. V. Douglas (2007) *Front Ecol. Environ.*, 5: 466-474.
- Tessier A. J. & C. E. Caceres (2004) *Ecol. Lett.*, 7: 695-703.
- Tezuka Y. (1992) *Jpn. J. Limnol.*, 53: 139-246.
- Tsugeki, N. (2005) Ph. D. thesis, CER, Kyoto Univ.
- Tsugeki, N. et al. (2003) *Limnology*, 4:101-107.
- Yoshida, T., et al. (2007) *PLoS Biol.* 5, 1868-1879.

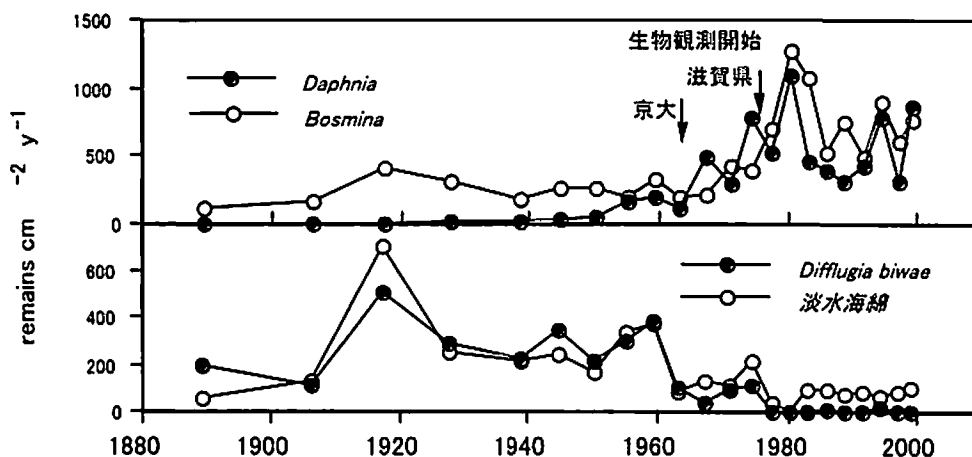


図1. 湖底堆積物から復元した琵琶湖の小型動物(プランクトン等)の長期変動 (Tsugeki et al. 2003を改変)

## 森林の種子生産の長期変動

正木 隆

森林総合研究所

### ブナの豊凶をめぐる議論

本稿のタイトルは上のように「森林の種子生産」となっているが、実際にはブナのみならず焦点をあてて議論をおこなう。ブナの種子生産に着目するのは、いくつかの理由がある。第一に、ブナは冷温帯日本を代表する樹種である。いわゆる「ブナ林」という言葉があるほど、ブナは日本の冷温帯林での優占度が高く、存在感の大きな樹木である。とくに日本海側の雪の多い地域ではそれが顕著で、ブナはときに森林のバイオマスの8割以上を占めることもある。第二に、ブナは冷温帯樹木の中でも種子生産の豊凶が大きい方で (Shibata et al. 2002)、しかもそれが一定の範囲内で同調することで知られている。そして第三に、ブナの実は栄養価が高く、それを餌資源としている動物はツキノワグマをはじめ数多い。ブナの種子生産の成否や年変動は森林生態系に大きな影響をおよぼすといえる。

しかし、ブナのこのような性質は、森林管理の現場では実にやっかいである。たとえばブナ林の伐採とブナの豊作のタイミングがあわないために、ブナの更新がうまくいかないことが多い。さらに最近では、ブナの豊凶とツキノワグマの里への出没の関連性が指摘されている。ブナが豊作に引き続いて翌年に凶作となると、ツキノワグマの有害捕獲頭数が増加する傾向は、統計学的には有意である (Oka et al. 2004)。そのため、ブナの豊凶予測はツキノワグマ対策に必要なことが認められてきた。これらの現実的な理由からもブナの結実の豊凶現象を長期的・広域的な研究によって解明することはきわめて重要なことである。

もちろん、ブナの豊凶現象は古くから注目されてきた。1930年代から単発的にブナ結実の観察事例が報告されており、そのほとんどは4～7年間隔でブナの豊作が生じたとしている (渡辺 1938、樫村 1952、菊地 1968、前田 1988)。

その一方、ブナの豊作がどの程度の範囲で同調するのか (鈴木 1989)、そしてどのような原因で生じるのか、については現在多くの研究者によって研究が進められているところである。

筆者の場合、森林総合研究所東北支所に勤務していたときに (1993～2002年)、東北五県の森林事務所 (約150林分) で調査されていたブナ結実の豊凶データ (1989～2000年) を解析し、共同研究者とともに論文として発表した (Suzuki et al. 2005)。そのときの結果では、それぞれが独自の豊凶変動をもつ3つの地理的グループが認識された。すなわち、岩手～青森にかけての「東北地方北部型」、山形から秋田南部にかけての「東北地方南部型」、秋田県中部から白神山地にかけての「秋田県中部型」の3つである。また、豊作をもたらす気象条件としては、前年夏が平年よりも高温で推移することが有力な候補であることを示した。これらの詳細については原著論文を参照されたい (Suzuki et al. 2005)。

一方、北海道立林業試験場の研究グループは、筆者らの研究グループとは独立に、北海道の渡島半島でのブナの豊凶を分析し、春先の日最低気温が平年よりも低いと、その翌年にブナが豊作になりやすいことを発見した (Kon et al. 2005b)。それは実験的な手法も援用したきわめて信頼できるものである (Kon et al. 2005a)。北海道グループは春の低温、しかし筆者らは夏の高温、というように、まったく異なる結果である。

### 東北地方と北海道の18年間のブナ豊凶の解析

一体どちらが正しいのか？あるいはブナの気象に対する反応に地理的な変異があるのだろうか？筆者はこの疑問を解くべく、アメダスデータとともに解析を試みた。解析に用いたブナ豊凶のデータは文献 (Yasaka et al. 2003) と北海道立試験場および森林総合研究所のウェブサイトで公開

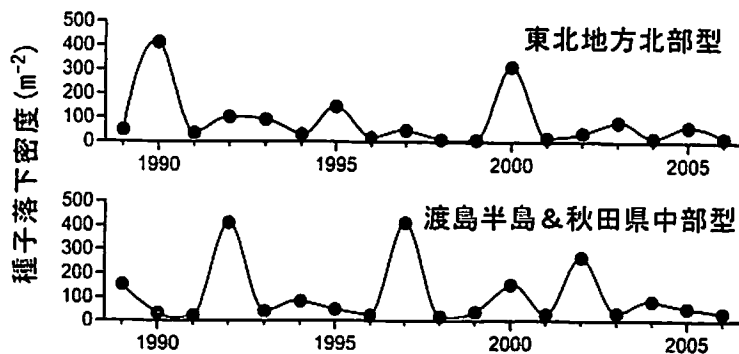


図1. 東北地方北部型(上)および渡島半島&秋田県中部型(下)に属するブナ林分(それぞれ8林分ずつ)でのブナ結実の豊凶変動。縦軸は林分の推定平均種子落下密度の値を表す。

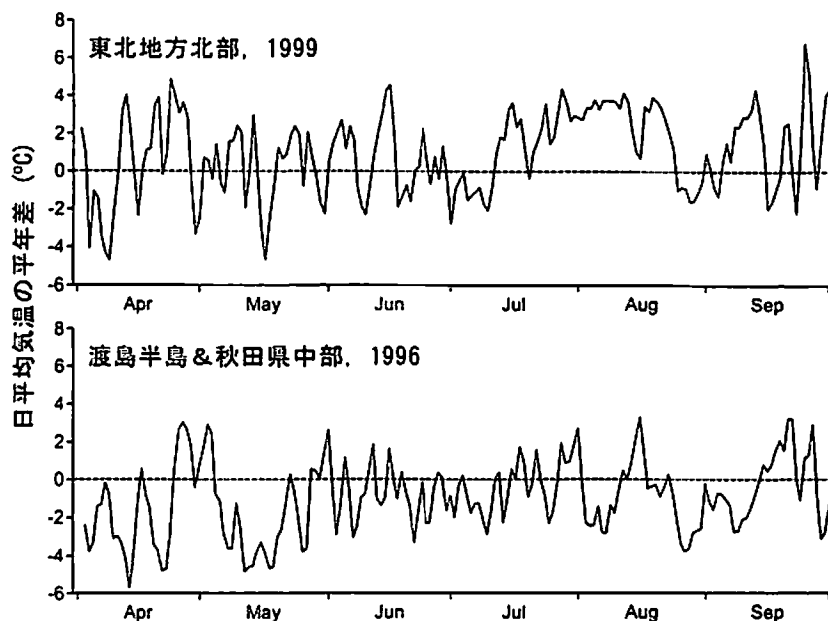


図2. 図1の林分から20km以内にあるアメダス観測所における日平均気温の平年差。斜線部はそれぞれの特徴的なパターンを示す。

されているもので、1989～2006年のデータがそろっている。なお、この結果の内容は現在国際誌に投稿中なので、ここではごく簡単な紹介にとどめることをご容赦いただきたい。

研究の狙いとしては、ブナの豊作の前年の気象条件とブナの凶作の前年の気象条件を比べることで、花芽の形成を誘導し豊作をもたらした気象条件を探しあてることにある。ただし、ブナは一度豊作があると、資源制約によりその翌年にはまず豊作がおこらないと考えられる。そこで、凶作年についてはその前年も凶作であるという条件を満たす年を選ぶこととした。

図1には、「東北地方北部型」に属する林分の推定平均種子落下密度、および渡島半島でのブナ

推定平均種子落下密度の年変動を示す(あとで述べるが後者には「秋田県中部型」も含めている)。たとえば、「東北地方北部型」の2000年の豊作の前年の気温はどうだったであろうか。図2に1999年の日平均気温の平年差の日変化を用いて示した。この図のとおり、7月から8月にかけて顕著な高温が続いていることがみてとれる。一方、渡島半島の方ではどうだったろうか。1997年の豊作の前年(1996年)の気象条件をみると、5月頃に顕著な低温が続く時期がみられる。まさに北海道の研究グループの研究結果のとおりである。

また、興味深いことに、「秋田県中部型」のブナの豊凶は、渡島半島のブナの豊凶と有意にそ



ろっていた（よって図2では、両者をあわせて気象条件を計算している）。このことから、春先の低温に反応して豊作となるブナは東北地方にもある程度のまとまりをもって分布しているといえる。また、ここでは詳しくふれないが、「東北地方南部型」では、夏の高温だけではなく春先の低温も並作～豊作のきっかけとなっている可能性があった。

以上のことから、ブナの豊作をもたらす気象条件は、少なくとも東北地方から北海道にかけて地理的な種内変異があると推定される。しかし、ブナの花芽形成が誘導されるまでの生理的なメカニズムは明らかになっていないので、今回述べた豊凶と気象の関係は「見かけの相関」である可能性は排除できない。このことには留意しておく必要があるだろう。

#### 今後の課題

ブナの豊凶に関する今後の研究方向として、筆者は生理学的メカニズムのほかに3つ考えている。第一に、ブナの豊作をもたらす気象条件は、関東以西の太平洋側や新潟・北陸地方ではどうなっているだろうか？たとえば筆者が北茨城のブナをみる限りでは、そこでのブナは東北や北海道とはまた異なる気象条件によって豊凶が制御されているようにみえるし、昆虫相の食害が豊凶におよぼす影響も東北地方とは異なっている印象を受ける。第二に、筆者は本稿において「ブナの種内変異」という言葉を用いたが、果たしてそれは本当にブナの遺伝的な変異によるものなのだろうか？もしそうだとすれば、現在のブナの分布の形成に豊凶特性はどのように影響したのだろうか？過去の気候変動はどのような役割を果たしたのだろうか？そして第三に、気象条件がブナの豊凶と密接にかかわっているのならば、地球規模の環境変動はブナの豊凶パターンを変えるにちがいないし、現に変わりつつあるのかもしれない。その影響を事前に予測できれば、今後の生態系管理に有効な情報となるであろう。

以上のように、ブナの豊凶現象をめぐる疑問や興味が尽きることがない。そしてそうである限り、筆者のブナ豊凶に対する研究の欲求がうす

れることはないであろう。

#### 謝辞

本研究は環境省公害防止等試験研究費「ツキノワグマの出没メカニズムの解明と出没予測システムの開発」プロジェクト研究の一環として実施された。

#### 引用文献

- 檜村大介 (1952) ブナ種子結実の豊凶について. 青森林友 44
- 菊地捷治郎 (1968) ブナ林の結実に関する天然更新論的研究. 山形大学紀要 5
- Kon H, Noda T, Terazawa K, Koyama H, Yasaka M (2005a) Evolutionary advantages of mast seeding in *Fagus crenata*. *Ecology* 93:1148-1155
- Kon H, Noda T, Terazawa K, Koyama H, Yasaka M (2005b) Proximate factors causing mast seeding in *Fagus crenata*: the effects of resource level and weather cues. *Can J Bot* 83:1402-1409
- 前田禎三 (1988) ブナの更新特性と天然更新技術に関する研究. 宇都宮大学農学部学術報告特輯 46:1-79
- Oka T, Miura S, Masaki T, Suzuki W, Osumi K, Saitoh S (2004) Relationship between changes in beechnut production and Asiatic black bears in northern Japan. *J Wildl Manag* 68:979-986
- Shibata M, Tanaka H, Iida S, Abe S, Masaki T, Niiyama K, Nakashizuka T (2002) Synchronized annual seed production by 16 principal tree species in a temperate deciduous forest, Japan. *Ecology* 83:1727-1742
- 鈴木和次郎 (1989) ブナの結実周期と種子生産の地域変異 (予報). 森林立地 31:7-13
- Suzuki W, Osumi K, Masaki T (2005) Mast seeding and its spatial scale in *Fagus crenata* in northern Japan. *For Ecol Manag* 205:105-116
- 渡辺福寿 (1938) ぶな林の研究. 興林会
- Yasaka M, Terazawa K, Koyama H, Kon H (2003)

Masting behavior of *Fagus crenata* in northern  
Japan: spatial synchrony and pre-dispersal

seed predation. For Ecol Manag 184:277-284

## 総合討論から

総合討論では各講演内容を簡単に振り返り、各講演に対する補足的な質疑応答の後、講演内容を通じてのさまざまな議論が聴衆を含め全参加者の間で交わされた。本稿ではとくに重要な議論についてのみ以下に抄録する。

### ・[気候変動に対する生物の応答の多様性と類似性]：

温暖化などの気候変動が各生態系を構成する生物に影響を与えていることが示されたが、生物の応答が現れる形質など影響のあり方は、生物の生活史の時間スケールにも大きく依存することが示唆された。たとえば、数年から数十年の気候の変化は、陸域の樹木のような長寿命の生物ではフェノロジーや種子生産の豊凶など個体内の可塑的な変化としてあらわれやすい（正木氏）が、湖沼の動物プランクトンでは同じ期間に非常に多くの世代を経るため選択圧として働き進化的な変化をもたらさう（占部氏）ことなどが示唆された。前者の場合でもそれを利用する昆虫や下層をなす草本種などは世代をまたぐ個体群としての応答をもたらす可能性がある。

### ・[海洋と陸域の変動の同調性]：

北太平洋域のプランクトン群集の年変動とシベリア北方林のフェノロジーの年変動のパターンは、これらの地域で連続する気候システムの変化に対して同調した応答として捉えることができる（千葉氏）。ただしそのパターンの同期性の検出に用いる気候データの時空間スケールには十分な吟味が必要である（中村氏）。

### ・[地域スケールでの生態系変動と気候変動のデータ比較検討に向けて]：

たとえば琵琶湖の冬季の混合には風の強さが大きく関わっていることが示唆され、これが近年弱まっていることも湖内の循環を弱める原因になっている可能性がある（占部氏）。琵琶湖の冬季の風速は日本海を含む周辺域との気圧差からも議論できるので、過去の広域の気圧配置などのデータとつきあわせることで琵琶湖の冬季の風に関するindexを見つけることは可能かもしれない（中村氏）。今後相互の情報交換が必要であろう。

### ・[気候変動以外の要因の可能性]：

海洋のプランクトンの長期的変動は直接的な気候変動に起因する他、大気降下物山来の窒素などの増減も影響すると考えられ、パルス的なイベントの符合などからその可能性は十分あると考えられるがその割合を定量的に示すことはまだ難しい（千葉氏）。

### ・[気候の平均値としての変化と変動振幅の変化]：

生物が応答するのは、気候の長期的な平均値の変化以外に、変動振幅の増減も影響があると考えられるがこれらの傾向と予測はどのようになっているか？（可知氏）。一般的に気温に比べると降水量の変動は場所や季節によるばらつきが大きい、モデルによる予測もやはり降水量に関して地域差が大きい。しかし時空間解像度に伴い雲の発生予測精度も上昇が期待される。（中村氏）。

・[生態系の応答による気候変動へのフィードバックについて]

温暖化の生態系を介したフィードバックの影響の予測については、陸域・海域ともようやく問題意識が浸透しつつある状況であり、まだ定量的な評価はできない。今後の気候システムと生態系のモデル研究の連携が必要となる。観測もモデル予測も空間解像度を上げる方向に進んでいる（中村氏）。森林が長期的にどのような応答を示すかについての観測研究はまだようやく一部の結果が出だしたところであり、今後気候モデルと連携した長期予測に用いることができる十分な質と量の観測データを得るためには、長期的展望をもった観測態勢の整備が重要である（正木氏）。

謝辞

本シンポジウムには約50名の方に参加いただきました。生態系を対象としていてもふだんあまり議論ができない各分野の専門家の皆さんによって「気候変動」を軸に、最新の知見と刺激にあふれた意見・情報交換がなされ、多くの参加者の皆様にも楽しんでいただけたのではないかと思います。すべての講演者、参加者の皆様にあらためて御礼申し上げます。また本シンポジウムの広報、会場利用にあたり、海洋研究開発機構管理室の皆さん、地球環境フロンティア研究センター推進室の皆さんには多大なご協力をいただきましたことを、ここに謝意とともに付記させていただきます。

本シンポジウム企画運営

加藤知道・石井励一郎・和田英太郎

## 2007年関東地区生態学関係修士論文発表会講演一覧

日時：2007年3月3日(土) 11:00-17:10

場所：東京大学農学部1号館第8講義室(A会場)および2号館化1講義室(B会場)

スタッフ：北村 亘(東京大院・農・生物多様性科学研究室)、黒江 美紗子(東京大院・農・生物多様性科学研究室)、高橋 由紀子(東京大院・農・森林植物学研究室)、棚橋 薫彦(東京大院・農・森林動物学研究室)、矢野 初美(東京大院・農・緑地創成学研究室)

以下のホームページで情報を公開しています。

<http://www.fb.fr.a.u-tokyo.ac.jp/kantoecol.html>

- A1 大場 健太郎(東京農工大院・植生管理学研究室)  
市近郊二次林における20年経過後の植生変化とその要因
- A2 佐々木 啓(宇都宮大院・農・森林生態学・育林学研究室)  
列状間伐によるヒノキ人工林の林分構造の変化
- A3 菊地 陽太(宇都宮大院・農・森林生態学・育林学研究室)  
天然林伐採後のイヌブナ(*Fagus japonica* Maxim.)二次林の更新過程とイヌブナの萌芽再生機構
- A4 深澤 圭太(横浜国大院・環境情報・生態学研究室)  
分布拡大予測モデルと分布適地予測モデルの統合による外来木本種アカギの侵入段階判定
- A5 大澤 隆文(東京大院・農・森圏管理学研究室)  
山岳の地形および環境がコナラ属樹木の遺伝構造に及ぼす影響に関する研究
- A6 永野 聡一郎(東邦大院・理・植物生態学研究室)  
乗鞍岳におけるハイマツの生育立地と環境ストレスに関する研究
- A7 奈良 遥(東京農工大院・植生管理学研究室)  
日光戦場ヶ原湿原周辺部の25年間の植生変化
- A8 谷川 敦子(東京農工大院・植生管理学研究室)  
日光戦場ヶ原の土砂堆積地における22年間の植生変化とズミ林の発達過程
- A9 伊藤 一誠(武蔵工大院・環境情報・緑地環境システム研究室)  
遠州灘海岸林における松枯れ後の植生回復過程
- A10 澤田 佳美(東京農大・農・森林生態学研究室)  
函南原生林における常緑広葉樹林から落葉広葉樹林への林冠優占種実生の発芽・定着数の変化
- A11 井上 章子(東京大院・新領域・自然環境学専攻)  
大森岳照葉樹林域における樹木の種特性からみた再生自然林形成過程
- A12 菊地 のぞみ(東京大院・新領域・自然環境学専攻)  
大森岳常緑広葉樹林域における人工林と自然林保護樹帯の群落構造と動態の比較
- A13 加藤 浩次(横浜国大院・環境情報)  
都市近郊分断林における遷移と木本種の種特性
- A14 高橋 創(東京大院・農・森林植物学研究室)  
街路樹のフェノロジーとイチョウの受粉特性
- B1 小柳 知代(東京大院・農・緑地創成学研究室)  
関東平野台地におけるススキ草地の面的・質的な変化-筑波・稲敷台地を事例に-

- B2 田中 正之 (宇都宮大・雑草科学研究センター)  
ヨシの塩環境適応に果たす生態的可塑性の役割
- B3 土方 直美 (筑波大院・環境科学)  
小貝川における侵略的外来植物オオブタクサの分布特性と種多様性に及ぼす影響
- B4 清水 静也 (茨城大院・理工・生態学研究室)  
河川敷における帰化植物オオブタクサ (*Ambrosia trifida* L.) の生育に対する人為的攪乱と環境条件の効果
- B5 宮本 万理子 (東京大院・新領域・自然環境学専攻)  
東京湾小櫃川河口塩性植生と立地環境に与える河道変更の影響
- B6 山北 剛久 (千葉大院・自然科学・生命地球科学専攻)  
東京湾富津干潟におけるアマモ場の長期空間動態と空間スケール依存性
- B7 依田 優紀 (群馬大院・社会情報)  
自然再生事業は何を再生しているのか?—大型ビオトープと里山・河川敷の比較環境科学的研究—
- B8 岡田 慶一 (信州大院・農・応用真菌学研究室)  
アカマツ林における外生菌根バイオマスに関する研究
- B9 近藤 那海子 (東京大院・農・森林植物学研究室)  
九十九里浜クロマツ海岸林における地下部外生菌根菌群集の構造と経時変化
- B10 白石 彩水 (東京大院・農・森林植物学研究室)  
ニセアカシア (*Robinia pseudoacacia*) 根粒菌の多様性と空間構造
- B11 尾崎 泰哉 (横浜国大院・環境情報・土壤生態学研究室)  
神奈川県丹沢山地におけるササラダニ群集の種多様性とその変化—植生衰退の影響を機軸として—
- B12 真山 春菜 (東邦大院・理・地理生態学研究室)  
無尾両生類における跳躍能力の温度依存性
- B13 嶋崎 暁啓 (日本大院・生物資源・森林動物学研究室)  
北海道東部浦幌周辺地域におけるヒグマの生息地利用解析および生息地評価モデル構築に関する研究

## 第28回（2008年）関東地区会生態学関係修士論文発表会開催のお知らせ

恒例の生態学関係修士論文発表会が下記の通り東邦大学において開催されます。この発表会は、1981年に第1回が茨城大学で開催された歴史ある発表会です。本年度修士課程を修了される大学院生に、その研究成果を発表する機会を提供するものです。この発表会では日本生態学会関東地区会の会員・非会員に拘らず発表できます。学部生・大学院生の皆さん、先生方、研究所にお勤めの研究者の方々をはじめ、多くの皆様の御来聴もお待ちしております。

**主 催：**生態学会関東地区会

**開催日：**2008年3月1日（土）

**会 場：**東邦大学理学部Ⅲ号館（千葉県船橋市三山2-2-1）

- JR総武線「津田沼駅」北口4番バス乗り場から、三山車庫行、二宮神社行、八千代台行、または5番バス乗り場から日大実習行、八千代台行のいずれかに乗車し、「東邦大学前」で下車（駅から10～15分）
- 京成本線「京成大久保駅」下車、徒歩約10分

URL: <http://www.sci.toho-u.ac.jp/accessmap/index.html>

**問い合わせ先：**東邦大学大学院理学研究科地理生態学研究室気付

第28回関東地区生態学関係修士論文発表会事務局

〒274-8510 千葉県船橋市三山2-2-1

Tel：047-472-1159（東京湾生態系研究センター内）

Fax：Telと同じ番号

E-mail：kantou\_master@yahoo.co.jp

## 2007年3月～2007年12月 活動報告

1. 地区総会・シンポジウムの立案・打ち合わせを地区会事務局（地球環境フロンティア研究センター）にておこなった。  
（11月10日に開催 下記参照）
2. 地区例会として修士論文発表会を2007年3月3日、東京大学農学部・1号館第8講義室および2号館化学第1講義室にて開催した。
3. 2007年度 地区総会（2007年11月10日）  
報告：会員動向、2006年活動報告、2006年会計報告  
議事：2006年度決算および2007年予算・活動計画の確認
4. 2007年度 シンポジウムの開催  
（2007年11月10日 海洋研究開発機構・横浜研究所）  
地球環境フロンティア研究センター共催  
「気候変動に伴う陸・湖沼・海の生態系の応答：時系列データの比較からみえるもの」

会員動向 2007年11月現在（2006年度との差分）

	A会員	B会員	C会員	合計
一般会員	666 (-6)	292 (+19)	85 (+5)	1043 (+18)
学生会員	201 (+11)	82 (+4)	12 (+4)	295 (+19)
名誉会員	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
合計	867 (+5)	374 (+23)	97 (+9)	1338 (+37)

### 今後の予定

地区会報第56号の印刷と発送、公開シンポジウム記録。  
2008年1月 地区会事務局の移転（首都大学東京へ 可知直毅教授）

### 2008年度計画

2008年3月 関東地区合同修論発表会（幹事：東大）  
2008年4月 地区委員会開催（シンポジウム企画など）  
2008年10月ごろ 地区総会およびシンポジウム  
2008年12月 地区会報印刷

地区会長：和田英太郎，庶務幹事：石井励一郎，会計幹事：加藤知道

事務局：〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25,

独立行政法人海洋研究開発機構 地球環境フロンティア研究センター (FRCCG),

<http://www.jamstec.go.jp/frccg/jp/>



## 2007年 会計報告

## 2006年度決算 (自2006年1月1日 至12月31日)

2006年度決算 (自2006年1月1日 至12月31日)		
収入		
地区会費還元金(2006年度)		1,359,471
2005年度より繰越		1,867,476
利子		230
	計	3,227,177
支出		
シンポジウム (2007年2月18日, 地球フロンティア)		69,610
総会案内はがき印刷発送/ポスター印刷発送	69,610	
修論発表会 (2006年3月4日, 首都大学東京)		33,668
地区委員会交通費		0
雑費		1,312
	小計	104,590
2007年度に繰越		3,122,587

## 2008年度予算案 (自2008年1月1日 至2008年12月31日)

種別	名目	計
収入		
	地区会費還元金 (2008年度入金全額)	1,181,080
	2007年度より繰越	1,984,769
	利子	0
	計	3,165,849
支出		
	シンポジウム(2008年度)	500,000
	会報(2008年度)	650,000
	修論発表会	70,000
	地区委員会交通費	10,000
	新規事業費	100,000
	雑費	5,000
	小計	1,335,000
	2008年度に繰越	1,830,849

---

日本生態学会関東地区会会報第 56 号

2008 年 2 月 25 日発行

©日本生態学会関東地区会

会 長：和田英太郎（海洋研究開発機構 地球環境フロンティア  
研究センター）

庶務幹事：石井励一郎（海洋研究開発機構 地球環境フロンティア  
研究センター）

会計・編集幹事：加藤 知道（海洋研究開発機構 地球環境フロンティア  
研究センター）

事務局：〒 236-0001 横浜市金沢区昭和町 3173-25  
独立行政法人 海洋研究開発機構 地球環境フロンティア  
研究センター 生態系変動予測研究プログラム

Email: esjkanto@jamstec.go.jp

Tel: 045-778-5597 Fax: 045-778-5706

印 刷：共進印刷株式会社

---

