

◎◎

温暖化へのとりくみ

脱炭素化社会に向けて

— 琵琶湖ソーラー・バレー構想と滋賀カーボン・オフセット —

仁連 孝昭

環境計画学科
環境社会計画専攻

2007年に、IPCC(気候変動に関する政府間パネル)の第4次報告書が公表されました。これまでの地球温暖化に関する継続的な研究がまとめあげられた報告書です。そこで書かれている内容のポイントは、人為的要因が地球温暖化を招いているということであり、自然的な要因ではないということです。これが今回の第4次報告書で強調されたことで、最近の気候変化に関するデータの蓄積から平均気温が1906年から2005年までで0.74℃上昇してきたということが、統計的にも確認されています。それと、平均海水温も上昇しています。海水温の上昇は、サイクロンや台風などの熱帯性の暴風雨が強化化していることにつながっています。また、局地の気温変化が大きく、とくにグリーンランドの氷が融けていることが観測されています。海洋の塩分の変化、風のパターン、海流の変化も確認され、気候変化が現実に進んできているさまざまな兆候が確認されていま

す。これらの原因は、大気中の温暖化ガスといわれている二酸化炭素やメタン、一酸化二窒素などの大気中の濃度上昇です。これらは人間社会がもたらしてきたものです。

図1の一番上に二酸化炭素の濃度変化のグラフが示されていますが、工業化社会になってから急速に上昇してきていることがわかります。メタン濃度についても、図1の中段のグラフですが、同様な現象が現れてきています。一酸化二窒素についても、工業社会になって、下段のグラフですが、急速に上昇してきています。

このような温暖化ガスの温度上昇がこのまま続くかどうかということに関して、IPCCはいくつかのシナリオを前提に予測をしています。(図2)もっとも温暖化ガス排出の少ないシナリオでも、

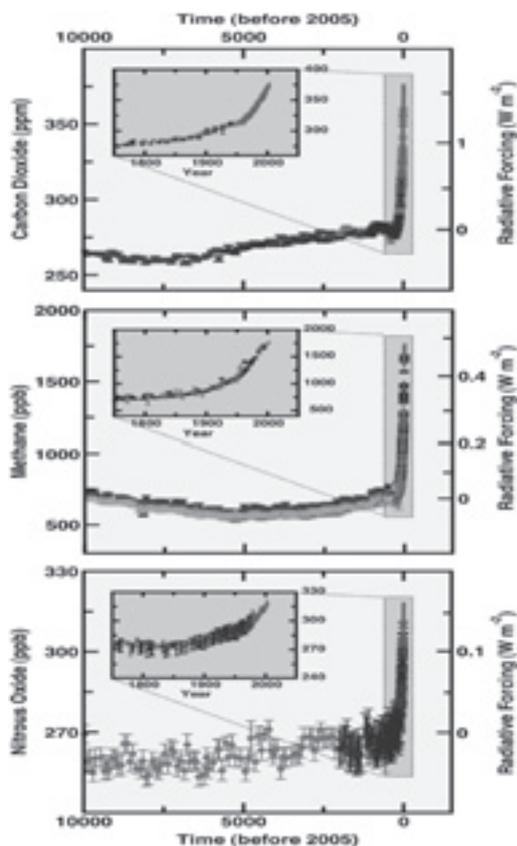


図1 二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素の濃度変化 (IPCC 第4次報告書, 2007)

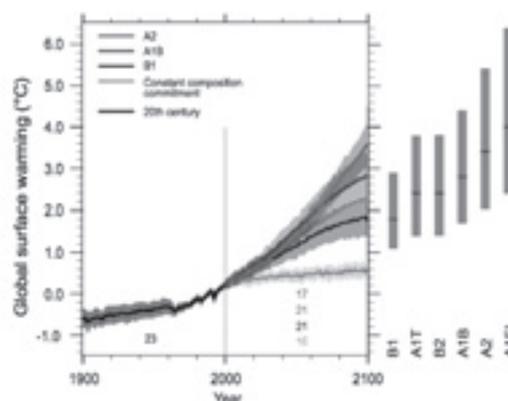


図2 IPCCによる気温上昇の予測 (IPCC 第4次報告書, 2007)

2100年までに1.8℃ (1.1℃から2.9℃の範囲)の気温上昇を予測しています。様々な温暖化排出ガス削減の努力をしたとしても温暖化が進むことが想定されています。高排出シナリオ、すなわち温暖化対策として何もしないというシナリオでは4℃前後(2.4~6.4℃の範囲)の気温上昇が想定されています。温度上昇を2℃前後までにおさえようとするれば2030年までに温暖化ガスの排出量を半減させる取り組みをしなければならぬといわれています。

気候変化がこのまま続けば積雪地域の減少が起きます。これは琵琶湖の周辺でも観測されていることです。琵琶湖集水域の周辺の積雪の減少は、湖水への酸素供給量を減らすとともに、湖水の上下層循

環を阻害し、湖底を無酸素化させるのではないかと危惧されています。また、凍土地帯、ツンドラでは、温暖化によって凍土が融けだすとメタンが凍土から開放され大気中に放出されます。メタンは温室効果が非常に大きいガスですから、さらに温暖化を加速させるのではないかと危惧されています。それから、水温海水温上昇により暴風雨が強力になることによる災害被害の甚大化が心配されています。これが地球温暖化問題ということです。

他方、地球温暖化の原因となっている化石燃料をこれもいつまで使えるのかということが最近議論されるようになってきています。石油や天然ガスなどの化石燃料も、使ったらなくなってしまう燃料です。ハバートは、化石燃料の枯渇がどのようにして現れるかを研究しています。

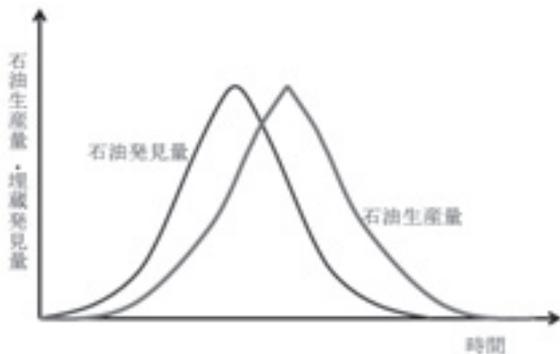


図3 ハバートのピーク・オイル

ハバートの仮説を図3で説明すると最初のピークが化石燃料埋蔵量発見のピークを示しています。埋蔵量発見はだんだん増えてくるけれども、その後新たな埋蔵量が発見されなくなってくる。これが最初に現れる埋蔵量発見のピークです。それに遅れて化石燃料の生産量の増加から減少への転換、すなわち生産のピークが必ずやってくるということです。これが、ハバート・ピークと呼ばれるものです。実例でみてみましょう。図4は、アメリカ48州のピーク

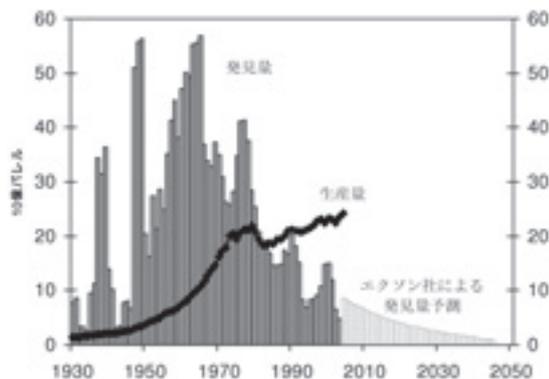


図4 アメリカのピーク・オイル
(Colin Campbell, The heart of the matter, The Association for the Study of Peak Oil and Gas, 2003)

オイルを示しています。アメリカでは、埋蔵量発見のピークは1930年前後で、それ以降、新しい埋蔵量の発見はだんだん落ちてきています。それに遅れて、石油の生産量のピークが1970年頃におとずれています。アメリカの場合、埋蔵量発見のピークから40年後に石油生産が減ってきています。世界全体でみたものが図5ですが、これでもていきますと、世

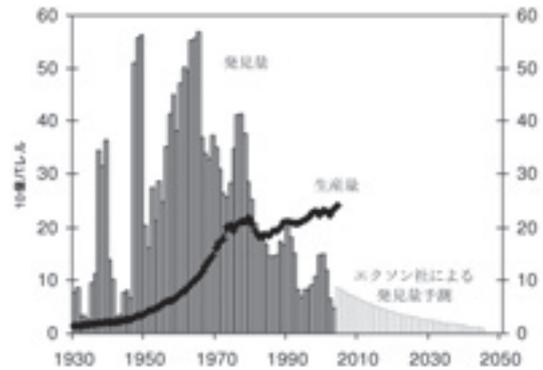


図5 世界の石油埋蔵発見量と生産量
(Colin Campbell, The heart of the matter, The Association for the Study of Peak Oil and Gas, 2003.)

界全体の石油の埋蔵量発見のピークは1960年代にあるようです。それ以降発見量は減ってきています。折れ線が生産量の変化を示しています。オイルショック前後から産油国のほうで生産量を減らして若干落ち込み、それ以降また増えてきてはいますが、この先はハバートの仮説によれば、生産量が落ち込むことが想定されます。

ピークオイルに関しては、いろいろな研究者・機関・企業が予測しています。図6は2006年6月、ア

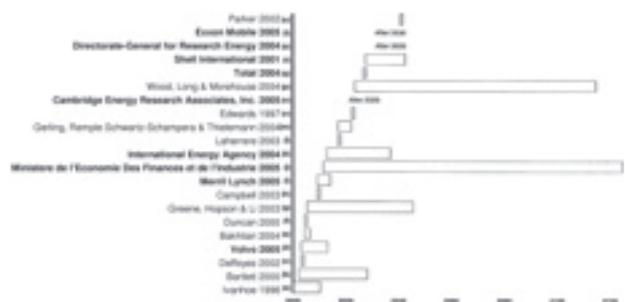


図6 ピーク・オイルの予測
(US Government Accountability Office(2007) Report of Congressional Requests, Crude oil, Uncertainty about future oil supply makes it important to develop a strategy for addressing a peak and decline oil production.)

メリカ議会に提出された報告書の中からとってきたものですが、ピークがいつくるだろうという予測で、ピーク予測が早いものから、遅いものまで並べてみました。フランスの経済産業省の予測では、ピークの期間は2010~2120年の間ということで、これ

はピークがいつくるかわからないという予測です。Wood, Long & Morehouse の予測ですと、2030～2110年の間です。この二つは、かなり幅の広いものですが、それらを除くと、ピークオイルの来る時期の幅が特定されています。石油会社 Exxon Mobile が2005年に発表した資料では、2030年以降に想定していますが、Shell が2001年に発表したものでは、2030～2050年というような予測をしています。国際エネルギー機関(IEA)は、2010～2040年くらいにピークがくるだろうと予測しています。また、Merril Lynch は、2010年代にピークがくるというふうに予測しています。このように、多くの機関・研究者が、ピークオイルがかなり近い将来にくるのではないかと予測しているわけです。

それからもう一つは、私たちに今直面している問題ですが、原油価格の急上昇があります。1980～1990年代では、1バレル20ドル前後であったものが、現在70～80～90ドルという値で動いています。図7

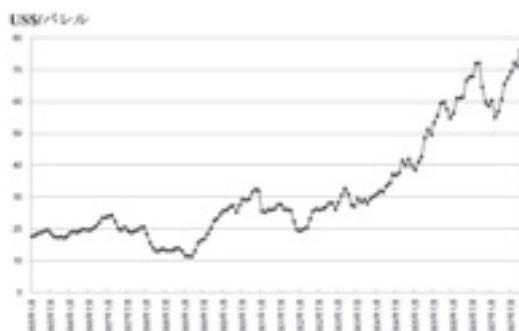


図7 原油価格の推移(日本到着価格 CIF 1バレル当り)
(出所: 通関統計)

は日本への到着価格で示していますので、1バレルあたりの日本の到着価格は低めになっていますが、国内市場での取引価格は、新聞紙上にでているようになりに高くなってきています。現在の経験からピークオイルがくると石油に依存した生活や産業が立ち行かなくなることを教えてくれています。

これら二つのこと、地球温暖化問題と、石油依存社会の危うさという問題を正面から受け止める必要があります。私たちの産業と生活を化石燃料に依存しないものに転換することが、現在の私たちの課題ではなかろうかと思うわけです。基本的に、化石エネルギーから太陽エネルギー、水素エネルギーの利用への転換が課題になっているということです。太陽エネルギーの源は核融合から生まれるエネルギーです。水素が融合することによって生まれるエネルギーが太陽のエネルギーです。持続的なエネルギー利用を考えると、水素エネルギーである太陽エネルギーへの依存に転換していく必要があるということ

です。

それから、国際的な温暖化ガスを削減する協定である京都議定書による約束期間が2008年から始まります。締約国は1990年の排出量に比べてそれを6%削減しようとしているわけですが、CO₂の排出削減は化石燃料への依存をそのままにして部分的な改良で達成されるのではなく、エネルギー利用のシステムの転換を必要とするということが、もう一つ重要な点です。システムを転換していくためには、イノベーションをいかに起こしていくか、そのイノベーションを起こすインセンティブをどう働かせるか、ということが重要になってくると考えています。システム転換を図8で説明します。縦軸に環境効率

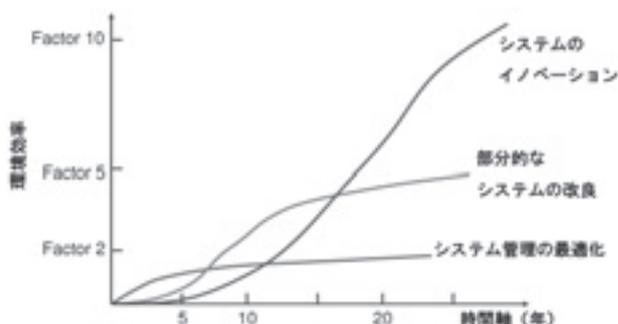


図8 システム転換と環境効率

(Weterings et al. (1997) 81 Mogelijkheden: Technologie voor Duurzame Ontwikkeling, The Hague, Ministry of Environment.)

を横軸に時間をとります。システム管理の最適化は、システムを変えずにできるだけ無駄をなくすことによって、最初はある程度環境効率を改善することができ、いずれは行き詰ってしまうこととなります。次に、部分的なシステムの改良は、システムを全く変えずに最適化をするよりは少しは環境効率は上がりますが、それでもいずれ限界におち当たってしまいます。最後に、システムを変えてしまうこと、システム・イノベーションによって、既存のシステムにとらわれない新たな段階で環境効率を上げることです。そのようなシステム転換が必要です。

このシステム転換をどのように進めていくかということですが、2007年5月に(社)滋賀経済産業協会が出しました提言の中に書かれている脱炭素化社会への精神は次の式に表されています。

$$\text{削減効果} = \text{削減努力} \times \frac{\text{削減効果}}{\text{削減努力}}$$

これは、温暖化ガスの削減努力を呼び起こすインセンティブを社会に内部化すること、そして努力を効果に結びつけるイノベーションを現実化することです。現在、この関係がどうなっているかという、

削減努力をしてもその見返りが削減努力をする側に返ってこないというのが状況です。したがって、削減努力のインセンティブが働きにくいという構造になっています。それから、削減努力をすればするほど削減効果が上がるのではなく、すればするほど効果が薄れてくるという構造になっています。図8のシステム管理の最適化やシステムの部分的改良がこれにあたります。それぞれの主体が温暖化ガス削減のために頑張ったとしてもそれほど効果は上がり、そのためのインセンティブが働かないという現状です。したがって、インセンティブが働く仕組みをつくるということと、削減努力に応じて効果が現れるようイノベーションを進めていくということが必要になってきます。

削減努力にインセンティブを与えるために、削減努力の効果を市場価値化しようとする流れがひとつあります。京都議定書では排出権取引によって他国から得た削減量を自国の削減量として認めています。EUの排出権取引制度では、余剰な排出枠を他の排出者に売ること、或いはそれを貯めておいて、適切な時期に売ることを認めています。排出制度にインセンティブ効果を与えようとしているわけですが、残念ながらまだ日本では、排出権取引制度は国内で制度化されていません。国レベルでは排出権を購入しようということが進んでいますが、国内の制度としては存在しません。制度ができるまで、当面カーボン・オフセットを導入してみてもとを考えます。カーボン・オフセットは、自社で温暖化ガスを削減しようとしてもそれほど効果が上がらないという場合、それよりも効果の高い対象に削減努力を振り向けることを可能にします。この点では、排出権取引制度と同じ効果が生まれるわけです。カーボン・オフセットを導入することによって、自己の活動から排出される温暖化ガスの削減に多大なコストがかかる場合であっても他の削減(吸収)活動に支出することが可能になり実施可能な削減活動にインセンティブを与えることができます。なお、このカーボン・オフセットを導入するためには、排出事業ごとの温暖化ガス排出量と対策ごとの削減可能量がどれだけあり、また森林管理などの吸収事業の適切性の評価などを検証していかなければなりません。さらに、オフセット対象事業が確かなものだとことを認証しなければ、カーボン・オフセットも定着しません。したがって、検証・認証の仕組みをつくる必要があります。しかし、このようなカーボン・オフセットが定着すると、将来的に排出権取引制度を運用するためのインフラストラクチャーが整備されることにつながります。排出権取引制度は国の制度化が前

提となりますので、それを待たなければなりません。そのインフラストラクチャーについては地域で先行整備してできます。

次に、エネルギー利用技術のイノベーションは、それぞれの企業が現状の生産システムを前提としてCO₂を削減するよりも、長い目でみれば削減効果を上げることができます。たとえば、CO₂排出量の多い製品よりも少ない製品を開発して市場に出すことによって、社会全体としてのCO₂排出量の削減や石油依存を減らすことへの貢献できるわけです。脱二酸化炭素、脱石油を目標にしたイノベーションの推進のため、滋賀をソーラー利用技術イノベーションの拠点、びわ湖ソーラー・バレー (図9)として発展さ



図9 びわ湖ソーラーバレー構想

せる機運を高めることが地球環境と地域の環境を大切にする地域産業の発展にとって必要なことだと思います。ソーラーと言うと太陽光パネルを指していると思われがちですが、それだけではなく、木材や有機物などのバイオマスも、もともと太陽のエネルギーを利用した光合成によって作られたものですからソーラー利用の対象になります。太陽エネルギーが凝縮したものを利用することを広い意味でソーラー利用と考えます。また積極的なソーラー利用だけでなく、パッシブな利用技術も含めると、ソーラーに関わる産業分野は結構広がって来ると考えられます。琵琶湖周辺の滋賀がソーラーを中心とするイノベーション拠点になり、新たな製品イノベーションをまきおすことによって、温暖化が危惧され石油利用の持続性を想定できない将来に向けて発展する市場をつくりだすことができます。これからは、CO₂を排出する石油を消費する機器の市場規模は否が応でも縮小します。ソーラー社会に見合った市場は発展する市場です。そのような新しい市場に対応できる産業を開拓していくのがソーラー・バレー構想です。そのようなイノベーション活動が集積して

きますと、集積の中からさらにまた新しいイノベーションが生まれてきます。そういうことを通じて、環境と両立する産業地域としてのブランド力ができますと、経済と環境の好循環が生まれてくると考えられます。

温暖化ガスを削減するインセンティブですが、当面カーボン・オフセットを定着させることによって進めることが考えられます。カーボン・オフセットを成り立たせるためには、排出量を一方で削減する事業が必要です。他方では削減したクレジットの購入者が必要となります。この両方を作り出す必要があるわけです。まず、削減対象としては、①県内の森林管理の適正化による森林による吸収、②自然エネルギーの開発、③県内中小企業への省エネルギー技術の導入、この3つを当面考えることができます。③については、経済産業省が制度化の検証を始めています。森林吸収、自然エネルギー利用を削減対象にできる仕組みを開発する必要があります。それから、クレジットの購入者ですが、これは地域にとらわれることはありません。企業がCSR事業としてカーボン・オフセットのクレジットを購入するとことが一つ考えられます。また、環境省が進めている一人一日一キログラムのCO₂ダイエット事業がありますが、そのような流れで消費者に購入してもらうことも考えられます。クレジットの直接購入者として、そのような企業や消費者が考えられます。それから、間接的な購入者を対象とするために、クレジット付の商品の開発があります。滋賀県を訪れる旅行者にカーボン・オフセット・クレジット付の旅行クーポンを観光会社から販売する。また銀行がカーボン・オフセット・クレジット付の預金商品を販売する。それから小売店では、いま普及しているポイント制度では商品を買うとポイントをつけてくれますが、そのポイントを消費者の希望によってカーボン・オフセットに転換することができるようなポイント制度を導入する。このような形でクレジットの間接的な購入、需要を生み出すことができます。

温暖化ガス削減にインセンティブを与えることと、CO₂の排出が少ない、あるいは化石燃料を使わない製品や技術、サービスの開発を促すこと、この2点が鍵です。二酸化炭素の排出削減を企業のコストにしてしまうようでは、すぐに限界にぶち当たってなかなか前に進みません。したがって、二酸化炭素の排出削減を企業の利益にする仕組みをつくる必要があります。イノベーションを進めることは、新しい製品やサービスの市場を生み出していくことにつながります。二酸化炭素の排出削減という問題を、新しいイノベーションの機会として経済を活性化す

るチャンスだと考えてもらいたいのです。それからインセンティブに関して、自社内の排出削減は省エネにつながってエネルギー支出が減りコスト削減につながるという点では、企業のインセンティブになりますが、それ以上ではありません。もっとインセンティブを働かせるためにはカーボン・オフセットのような仕組みをつくる必要があります。無理矢理削減するのではなく、カーボン・オフセットを購入することによって、企業にとっては社会貢献に資することができ、消費者にとっても地球環境に貢献しているという満足を得ることができます。イノベーションを活性化しインセンティブを強めるためには、それらを定着させる体制をつくる必要があります。イノベーションを促進する産官学のコンソーシアムをつくる必要があります。滋賀県は中小企業が多いといわれています。中小企業の事業分野は、かなり限られたマーケットを対象とした分野です新規事業でのイノベーションに取り組むことはなかなかできません。したがって、企業間の連携で新規事業をめざしたイノベーションを進めていくコンソーシアムなどの体制が必要となってきます。そういうコンソーシアムをリードするイニシャチブが必要になってきます。

このコンソーシアムでは、新規事業をにらんだ製品デザインに取り組むことが求められます。残念ながら日本の大学教育の中では、こういう製品デザイナーを育成する教育コースがありません。いろいろな要素技術を組み合わせ、市場に適合する製品やサービスをデザインしていくという点は不得意なところですが、これに取り組む仕組みをつくっていく必要があると考えています。さらに、カーボン・オフセットを進めていくために、二酸化炭素排出削減の認証や検証などの第三者的な機関がやるべきサービスを提供していく仕組みが必要です。こういうことを担える制度的な仕組みが必要ではないかなと考えています。二酸化炭素の削減、あるいは石油依存に変わる新しいシステム技術のイノベーションは、個々の企業や個々の消費者がいくら頑張ってもできない点がありますので、産官学で共同して取り組むことが必要です。

(本稿は2007年12月8日に(社)滋賀経済産業協会主催により開催された「第3回CO₂削減シンポジウム」での講演を書き起こしたものです。)

気候温暖化と湖沼

— 琵琶湖を例に —

長谷川直子

環境科学部

環境生態学科

はじめに

滋賀県立大学環境科学部年報第12号で気候温暖化特集を組むということで、「温暖化と湖沼」に関しての原稿を依頼された。これほどタイムリーな話題もないだろう。実は、2006年度末の暖冬の影響で、琵琶湖の全循環は、不十分か、もしあったとしても非常に短期間に終わった。その後遺症で2007年秋から冬にかけて琵琶湖深層の溶存酸素濃度は観測史上最低レベルとなり、琵琶湖は危機的な状況となったのだ。幸いにも、この原稿を書いている2008年2月現在、琵琶湖深層の酸素濃度は回復した。しかしだからといって安心は出来ない。というのも、このような危機は2007年のみの問題ではないからだ。今後、気候が温暖化するのは避けられない状況であり、つまり2007年に起こったような琵琶湖の危機的な状況が今後再発する可能性は高く、場合によってはさらに深刻な状態になることもありうる。この原稿では、まず、一般論として気候の温暖化が湖にどのような影響を与えるのかを概説し、次にケーススタディとして現在の琵琶湖で何が起きているのかを述べようと思う。

湖の水温

温暖化と湖沼の話をする前に、まず湖の水温の構造について理解してもらう必要がある。ここでは日本の琵琶湖を例に解説したい。

日本のような中緯度の国には四季がある。四季の移り変わりに伴い、気温や日射量が変化する。春から夏にかけて、気温は高くなり、湖の水も表層から温められる。しかし深層の水は、琵琶湖のように100mもの深さがあると、夏でも温まらない。ちょうど風呂釜式のお風呂のお湯のように、表層だけが温まった状態になる。この状態を、水温成層(表層

に暖かい密度の小さい水があり、深層に冷たい密度の大きな水があり、層を成している状態のこと。)と呼ぶ。また、表層の温かい水と深層の冷たい水の上に位置する、水温が急激に鉛直変化するところを、「水温躍層」と呼ぶ。このように強い成層状態にあるとき、上下の水はまるで分離されたようになり、さまざまな物質の移動がおこりにくくなる。湖の中には内部波¹と呼ばれる水の運動があり、水温躍層の深度も変化することがある。だから湖によっては、夏泳いでいると、表層はとても暖かいのに、突然冷たい水が足元からやってくることもあり、注意が必要である。

さて、夏が過ぎて秋から冬にかけては、今度は気温が低下する。湖の水は、表面から冷やされていく。冷えた水は密度が大きい(重い)ので沈降する。その結果、鉛直方向に水が混ざる²。このことを「循環」という。冬に充分水が冷やされると、この循環は湖底まで達する。このことを「全循環」という³。

湖の形態や地理的分布

ひとことで「湖沼」と言ってもその形態や分布域は多種多様である。例えば地理的分布に着目すると、高緯度には一年中氷に覆われている湖もある。また熱帯地域にある湖は常に水温が高く、年間の気温変化も小さいので湖水温の年変化も小さい。湖の深度に着目すると、深い湖では常に成層していて、しばしば湖底まで水が混ざらないことがある。一方、とても浅い湖ではたとえ成層していたとしても、風が吹くことで頻繁に底まで循環することがある。中緯度温帯地域の湖は、気候的寒暖と湖の水深の違いから、循環をしない湖、冬に1回循環する湖、冬のはじめと終わりに2回循環してその循環の間に結氷する⁴湖に分けられる。つまり、湖の循環形態は、そ

¹水温などによる成層があるときに、風などによって躍層が上下方向に振動することがある。この振動は躍層に沿って波として伝わる。このような湖の中に存在する波のことを、水の表面の波と区別して「内部波」と呼ぶ。

²表面から冷やされて湖の水温成層が弱くなると、風が吹くことで湖水が鉛直的に混ざりやすくなる(風のせんだん応力という)。ただし、湖面冷却と風が湖水の鉛直循環に及ぼす影響については不明な点が多い(佐藤, 2007)。

³琵琶湖の場合、夏の表層水温は8月に29℃程度まで上がる(後述する滋賀県立大学湖沼環境実験施設定期観測データより)。冬の循環期には深層水温(近年は6~8℃を推移)と同じ程度に表層水が冷えれば循環が起きる。

の深さ、緯度と高度に大きく依存する気候帯、風、の3つの要素を受けて分類することが出来る(詳しくは西條・三田村(1995)を参照されたい)。

湖の栄養状態と深層の酸素の関係

全循環は湖にとって重要な現象である。なぜなら、表層で空気に接している、酸素を沢山含んだ水が、全循環によって深層まで達するからである。そのようにして、湖底付近まで供給された酸素は、湖底付近から徐々に消費されていく。この湖底付近の酸素消費は、湖底の泥の中にある有機物をバクテリアが分解するとき、酸素を必要とすることによる。つまり、一般的には、湖底の泥の中に、有機物が沢山ある湖のほうが、深層水の酸素消費量は多くなる。逆に、有機物の少ない湖では酸素の消費量も少ない。湖底の泥の有機物の量は、湖外から運ばれる有機物量とともに、その湖内で行なわれている生物生産量にも大きく依存している。湖の中で、生物生産量が多いかどうかは主に、湖水に流入する栄養塩量に依存する。栄養塩とは、リンや窒素など、植物が増殖するための必須の栄養素のことである。栄養塩が少ないと、植物の増殖は妨げられる。ちょうど、肥料をやらないで育てた植物と同じである。「植物」というと、湖の場合、水草を思い浮かべられるかもしれないが、湖には「植物プランクトン」という、水中に浮遊しながら光合成を行なって生活するとともに小さな生物が沢山いる。これらの生産量も馬鹿にできない。水草は、水深がある程度浅い限られた範囲(沿岸域)に集中して生活するが、植物プランクトンは湖の水深に関係なく湖の表層の光が届く深さに漂って、沿岸域から沖域まで湖全域で生活している⁵。これら(や、これらを捕食するミジンコのような動物プランクトン、それらをまたさらに捕食する魚など)が死ぬと、湖の底へ沈んで、底泥中に有機物として蓄積される。これらの有機物が分解されるときに湖底の酸素を消費するのである。湖表層で生産された植物プランクトンは大部分が表層で分解され、

深層まで運ばれるのは表層で生産された有機物の一部と言われている。しかし、深層では酸素の供給が冬の循環期以外にはないので、一部の有機物でも分解され続けられれば、深層の酸素は時間とともに低下することになる。

さて、このような分解による酸素消費が進むと、湖底付近の酸素が少なくなったり、無酸素になったりする。すると、湖底付近に生活する底生生物の活動が妨げられたり、ひどい場合には死んでしまうことになる。また、酸素低下の影響は生物活動に及ぶだけでなく、酸素の少ない状態(還元状態という)では、湖底の泥の中からリン、マンガンを鉄、といった成分が溶出したり、硫化水素やメタンが放出される可能性もある。つまり深層の溶存酸素濃度の低下は、生物活動に影響を与えるだけでなく深層の水質も変化させてしまう。

深層の酸素の状況を考えるときには、酸素の供給量と消費量のバランスを考える必要がある。酸素の供給量が少なくても、生物生産が少ない、つまり分解される有機物が少なければ、湖底付近の酸素の消費量は少ないため、酸素の低下はあまり起こらない。一方、酸素が沢山供給される湖(とくに浅い湖では、風が吹くだけでも底まで混合されることがある)でも、深層の有機物分解が活発で酸素がどんどん消費される場合には、一時的に無酸素になることもある。琵琶湖の場合、2007年のように、長くても1週間⁶しか循環しない年は酸素の供給が完全に行なわれない可能性がある。そのような状況は今後増えることはあってもなくなることはないだろう。そのとき、深層で溶存酸素を消費する有機物が多いと、深層水は容易に無酸素になるだろう。つまり、温暖化したときに循環期間が短くなるなどの理由により、溶存酸素の供給が今までよりも減るのならば、深層の溶存酸素を健全な状態に保つためには、供給される酸素量に対応した酸素消費量、つまり有機物生産量にとどめる必要がある。そのためにはどうすればよいかということ、窒素やリンといった一次生産量を規定

⁴水は約4℃で最大密度となり、0℃に近づくにつれて密度が小さくなるため、結氷時の湖水(表層で0℃に近く、深層で4℃に近い)も成層している

⁵このため、湖の底まで光が届く浅い湖では、湖水全体で一次生産が行なわれている。一方、深い湖では、一次生産は光が届く表層のみで行なわれ、深層では行われない。

⁶2006年の年末から2007年3月末にかけて、筆者は北湖最深部付近(水深約90m)に係留系(ブイやアンカー、ステンレスワイヤーなどを使って自記測器を固定し、長期連続観測する装置)を設置し、鉛直水温の時系列変化を観測した。その結果によると、全循環が起こった可能性のある、水温が表層から深層まで等温になった時期は、3月中旬のわずか1週間だった。しかしこれは広い琵琶湖ただ1地点での観測結果なので、琵琶湖全体でどのような状況にあったかはまた別問題である。

する栄養塩の、湖の中に流入する量を制限してやる必要がある。現在の水質の環境基準は、湖の深層で有機物の分解によって酸素がなくなるためにどの程度の栄養塩供給量ならば大丈夫か?という視点で作られている(窒素、リン等水質目標検討会 .1980)。今後は今までの気候状態と変わってくるし、気候の温暖化によって酸素の供給量が減る可能性があるため、それに対応した環境基準、つまりリンや窒素の流入量をいまより減らす方向に作り変える必要があるだろう。また、湖の外部からの有機物流入量も減少させる必要があることは言うまでもない。

さて、ここまでは酸素の視点から議論をしてきたが、温暖化すると湖に現れる影響として他にどのようなものがあるのだろうか。これは実は難しい問題だ。というのも湖はそれぞれ、気候帯も深度も異なっているため、温暖化の影響の出方が湖ごとに違うからだ。ただ、少なくとも以下のことは言えるだろう。

暖候期、温暖化によって成層が強くなり浅くなる効果が考えられる(新井.2000)。成層が強くなれば、その成層を崩すのにより多くの冷却量が必要になる。成層を破壊するのに時間がかかれば、破壊した後の全循環期間は短くなる。つまり、暖候期の成層の強化と寒候期の循環期間の短期化は表裏一体の関係にある。表層にあった各種栄養塩は一次生産によって植物(植物プランクトン、水草)に取り込まれ、それらの植物は死んで深層に沈降する。そして生物は深層で分解され、栄養塩は再び湖水中に戻る。成層が強化され、循環が短くなるもしくはなくなれば、これらの栄養塩は深層に蓄積される一方で、生産が活発な表層では逆に栄養塩が減り続け、生産量が低下する可能性がある。また、深層が貧酸素・無酸素になれば、底泥からリンなどの各種溶存成分が溶出し、深層の栄養塩濃度はさらに高くなる。全循環のような何かのきっかけで、深層に蓄積していた栄養塩が突然表層へやってくれば、大量の生物生産(ブルームと呼ばれる)が起こり、その結果として、淡水赤潮が発生する可能性もある。

冬に全循環が起こるためには、暖候期に湖に蓄えられた熱をすべて解消するだけの冷却が必要になる。つまり、暖候期の加熱が温暖化によって増加すれば、それ以上の冷却が寒候期に起こらないと、全循環は起こらない。今後数十年にわたり、気候が温暖化することは必至である。気候は変動を伴うので、たまにとても寒い冬や冷夏が起こることはあったとしても、全体的な傾向としては、前の年よりも冬も夏も暖くなる傾向が続く、と言うのが「温暖化」である。寒い冬が到来すると湖水は一気に冷却され、深層水温は低下する。それに続く夏の成層が

強くなったり、暖冬が起これば全循環は起こらない可能性が高い。つまり、前の年よりも暖かい夏が来れば成層は強まるし、暖かい冬ならば湖水は十分に冷却されない。後で詳細に述べるが、暖冬が続く場合深層水温は上昇する傾向にある。「気温が温暖化して、湖の深層まで水温が上昇すれば、全循環を起こすだけの冷却に必要な熱量は以前より少なくて済む(冬そんなに寒くなくても大丈夫)のではないか?」という考えは、暖候期の成層が経年的に強化されている限り、理論的にも成り立たない。例えば、温暖化する前には6℃だった深層水温が温暖化によって8℃になった場合、全循環を起こすためには表層水温は8℃まで低下すればいいので、以前に比べて冬の冷却が少なくとも全循環すると思えがちである。が、暖候期には水温が8℃のところから出発して表層の成層が形成されているうえ、その成層は温暖化によって前年よりも強化される可能性が高いため、結局全循環するのに必要な冷却量は減少するどころか増える可能性が高いのだ。経年的な傾向以外に、気候変動の変動要因の中でもエルニーニョが起こると日本は暖冬になる傾向がある(住.1999)ので、湖の水温を考える上で重要である。

また、世界の多くの深水湖(最近30年程度のデータがある湖が多い)で、観測開始以来、湖の持つ熱量が増加しているという報告が多い。簡単に言うと、湖の水温が昔に比べて上昇しているということである。琵琶湖でも深層水温が上昇していて、それは冬季の気候の温暖化が原因であると観測データによっても指摘されている(速水・藤原, 1999)。同様の傾向はヨーロッパの湖で数値計算によっても指摘されている(Peeters, et al., 2002)。深層の水温が上昇すると、底泥の中にある有機物の分解が促進される(Blumberg & Di Toro, 1990)。そうすると、酸素はますます消費される。

2007年の琵琶湖

次に、我々に身近な琵琶湖の様子を紹介したい。

さて、2007年の琵琶湖では何が起こったのだろうか? 滋賀県立大学湖沼環境実験施設では、2001年から現在まで、月に1回の頻度で定期観測を行なっている。また、観測で得られたデータはホームページで公開されている(http://www.ses.usp.ac.jp/limnol_lab/)。ここでは、その定期観測で得られた、水温と溶存酸素の鉛直分布の経年変化についてみてみよう。図1に観測地点の場所、図2に酸素と水温の経年変化を示す。図2の水温図は、図の見易さのため、10℃以上は同一色で塗りつぶし、1℃間隔の等温線は15℃以上は描き入れなかった。

2007年は他の年と比較して、深層まで水温が高く、また深層の溶存酸素が低かった。2002年も2007年に匹敵するくらい深層の酸素濃度が低かったことが、図から読み取れる。そこで、2002年と2007年の深層(87m)における水温と溶存酸素濃度の変化を比較したのが図3である。両年を比較すると、2002年は2月に酸素の回復が起きているのに対して、2007年は3月まで遅れている。また、2007年は酸素の回復と同時に約1℃も深層水温が上昇している。琵琶湖の深層水温は、その冬の気温(1~3月の平均気温)と相関があることが報告されている(速水・藤原,1999)。ためしに彦根地方気象台の2002年と2007年の月平均気温を比較してみる(図4)。図4の横軸は月をあらわしているが、参考のために、0月とされている点に前年の12月の月平均気温を示す。2007年は2002年と比較して、前年12月から2月まで常に気温が高いことがわかる。2002年1~3月の平均気温は5.9℃であるのに対して2007年の1~3月の平均気温は6.2℃であった。

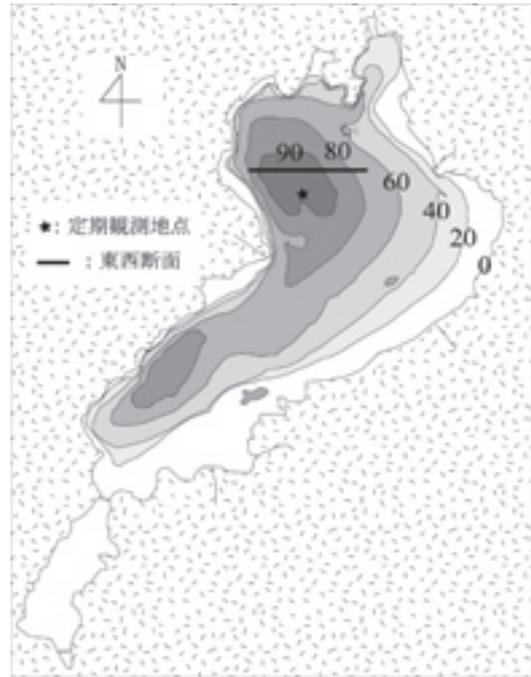


図1 滋賀県立大学湖沼環境実験施設調査船はっさか号による定期観測地点

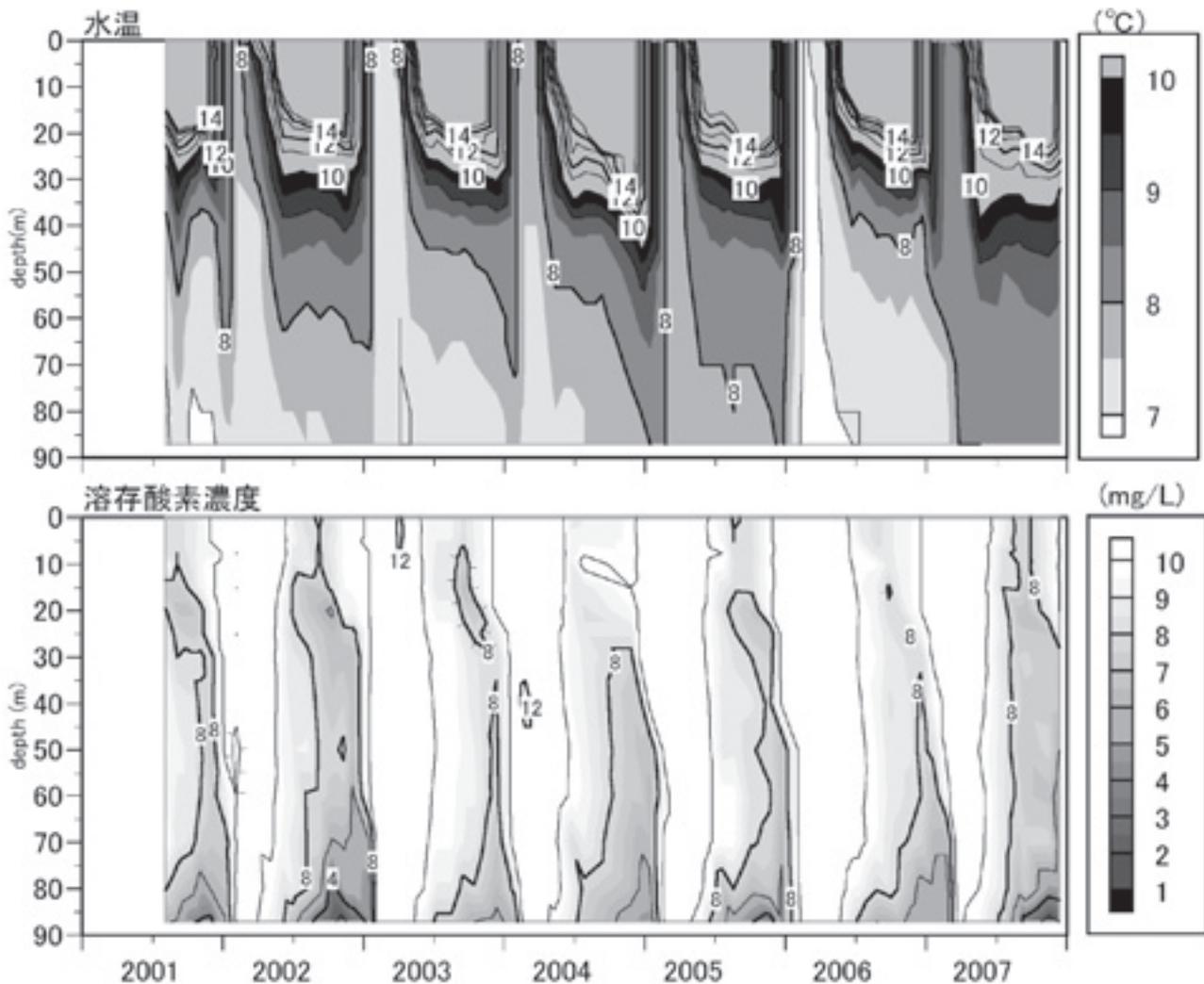


図2 琵琶湖の水温・溶存酸素の鉛直分布の経年変化(滋賀県立大学湖沼環境実験施設定期観測データより)

ちなみに、2001年12月～2002年3月の平均気温は6.0℃であるのに対して、2006年12月～2007年3月の平均気温は6.4℃であった。このことから、2007年の深層水の上昇が、暖冬の影響を少なからず受けていることが示唆される。

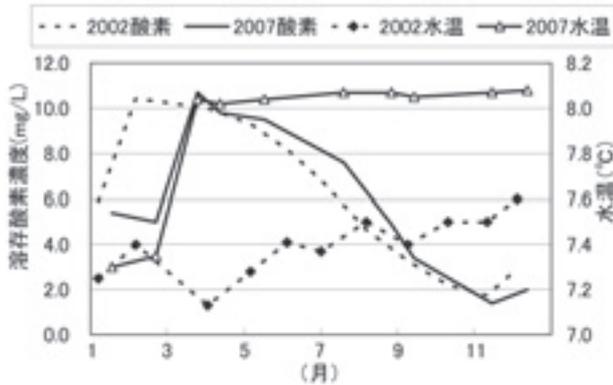


図3 2002年と2007年の琵琶湖深層の溶存酸素濃度・水温の変動(滋賀県立大学湖沼環境実験施設定期観測データより)

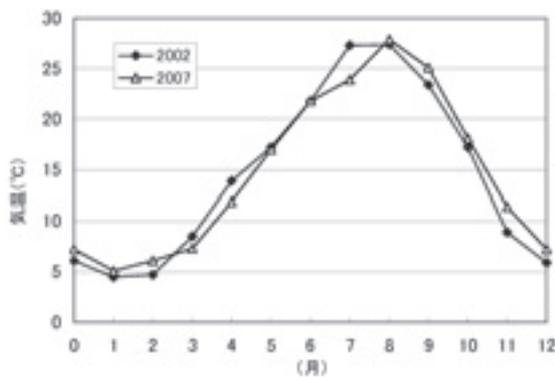


図4 彦根の2002年と2007年の月平均気温(彦根地方気象台観測データより)

2007年、ついにおこった危機的状況

筆者は2007年9月以降毎月、琵琶湖北湖の東西断面(図1に示す東西ライン上の7地点)で観測を行ってきた。図3の定期観測の結果によると、2007年3月には深層の酸素は10 mg/l まで回復していたが、筆者の2007年9月20日の観測では、一番酸素濃度の低い地点の濃度は3.4 mg/l だった。そして10月18日の調査では1.2 mg/l の濃度を記録した。底生生物の健全な活動のためには、3～5 mg/l の溶存酸素濃度が必要だといわれている。生物の酸素耐性(どれくらいの低酸素まで耐えられるか)は生物種によっても異なる。が、酸素濃度が低くなればなるほど、①耐えられる生物種は減少するし、②低酸素環境下にさらされる時間がたとえ短くても、死亡してしまう確率も高くなる。筆者は、「いったい、この後琵琶湖はどうなるのだろうか? 無酸素になってしまう

のだろうか?」と不安になった。

12月上旬、滋賀県琵琶湖環境科学研究センターの淡探という潜水ロボットが調査したところ、北湖の湖底でスジエビやイサザ(ハゼ科の魚で、琵琶湖の固有種)などが大量に死んでいるのが確認された。この調査結果によると、魚類とスジエビの推定死亡数はそれぞれ10万匹である(滋賀県琵琶湖・環境科学研究センターの発表による)。筆者も2007年12月22日に行なわれた同センター調査船はっけん号による湖底調査に同行し、湖底の映像を見たが、真っ暗闇に死んだエビや魚が白くなって点在している様子は、この世の終わりを見たような気がした。そのような状況が今琵琶湖の湖底に広がっていると考えるといたたまれなくなる。酸素が少なくなったり無酸素になったりすれば生物の死活問題であるということは当然予想されることではあるし、いつかはその可能性もあると分かってはいた。だが、まさかこんなに早く現実のことになるとは予想もしていなかった。筆者を含め、琵琶湖北湖の低酸素水塊の実態把握のための合同調査を有志で行なっている研究者たちは、一同ショックを受けた。

もちろん、今回の魚やエビの大量死が、本当に酸欠によるものなのかは今後詳しく調査する必要がある。ただ、琵琶湖の深層水がこれほど低酸素環境下に長くあったことも、深層で生物が大量死しているのが見つかったのも、今回がはじめてであるというのは紛れもない事実である。

さいごに 一今後の琵琶湖研究の行方は—

2007年、琵琶湖はとてつもない低い酸素濃度や魚やエビの大量死など、さまざまなことを経験したし、それを調査する研究者たちも多くを学んだ。今まで知らなかった知見が、精力的な調査によって得られつつある。今後、気候が温暖化していったときに琵琶湖の環境はどうなるのか、琵琶湖に関わる一部の研究者たちによって、IPCC の気候予測に基づいた琵琶湖環境のシミュレーションを行なおうという動きがある。そのなかでは、琵琶湖固有種を含む、琵琶湖に生息する生物に対する温暖化の影響予測を行なう必要があるだろう。さらに、予測された気候状態(水温・成層状態)のもとで、底泥中の有機物分解によって起こる深層の溶存酸素消費を健全な状態にとどめるためには、どの程度の栄養塩の流入量であれば問題ないのか、その推定を行なう必要があるだろう。琵琶湖を健全な状態で後世へ残すため、なるべく早く琵琶湖の将来像を明らかにし、出来る対策を早急に進めていく必要がある。

最後に、琵琶湖に関わる一研究者としての極めて

個人的な意見を述べたい。筆者は、琵琶湖は救急患者になっているという印象をもっている。琵琶湖は今、温暖化という環境変化に対応できず、琵琶湖という生命のゆりかごの一部から、悲鳴が上がっている状況ではないだろうか。その悲鳴が今、酸素濃度の低下や、魚やエビの大量死といった形で、目に見える症状として現れ始めているのではないだろうか。

こんな大変な救急患者が身近にいる状況なのに、最近、琵琶湖に関する研究予算が削減されようとしている。その予算削減を受けて、精度のよい調査を行なうための設備が使えなくなる可能性が出てくる。それらの設備が使えなくなれば、筆者が行ってきたようなアンカーやワイヤーを使った係留による長期連続観測も今後は出来なくなる。そうすると、琵琶湖の将来像をなるべく正確に把握するために必要なデータをとることすらできない。他に代わりのないこれらの設備を、まだ使えるのに運用停止にしようというのは、資源の有効活用をしないと言う意味だけでなく、高度で詳細な調査・研究ができなくなるという意味でも「もったいない」と思う。また、救急患者の様子を正確に把握できなくなるため、たとえ患者の容態が悪化しても気づくことが出来ない。それはまるで救急患者琵琶湖を見殺しにするように思えてならない。琵琶湖に関わる研究者の一人として、温暖化問題の改善とともに、近畿の水がめ、

滋賀県民の母でもある救急琵琶湖の診断を、受け入れ拒否して見殺しにするようなことにだけはならないことを願って筆をおく。

文献

- 新井正(2000)地球温暖化と陸水水温. 陸水学雑誌 61(1).25-34.
- 西條八束・三田村緒佐武(1995)「新編湖沼調査法」. 講談社サイエンティフィク. 208 p.
- 佐藤芳徳(2007)湖水の循環と混合. 日本水文学会誌 37 (4): 201-208.
- 住明正(1999)「地球温暖化の真実」ウェッジ選書.208
- 速水裕一・藤原建紀(1999)琵琶湖底層水の温暖化. 海と空 75 (3): 103-105.
- 窒素、磷等水質目標検討会(1980)湖沼の磷に係る水質目標についての検討結果. 水質汚濁研3 (3): 143-158.
- Blumberg & Di Toro (1990) Effects of climate warming on dissolved oxygen concentrations in Lake Erie. Transaction of the American Fisheries Society 119: 210-223.
- Peeters, et al. (2002) Modeling 50 years of historical temperature profiles in a large central European lake. Limnol. Oceanogr. 47 (1): 186-197.

温暖化と作物生産

秋田 重誠

生物資源管理学科

化石燃料の大量消費、森林伐採などにより、大気中の二酸化炭素など温室効果ガスの濃度が上昇し、この濃度上昇が温暖化の一因と考えられている。二酸化炭素濃度の例をみると、現在は380ppm、しかも、年に約2ppmの速度で上昇しているとされる。温暖化程度の今後については大気循環モデルなど種々のシミュレーションモデルを用いた推定が行われており、21世紀末の世界の地上平均気温は約1.1-6.4℃上昇するとされている(IPCC 2007)。すでに温暖化による気温の上昇が凍土層の消失、海水面の上昇、さらには、ヒマラヤの雪解けを早め、バングラデシュなど大河川の下流域ではかつてみられなかった規模の水害あるいは耕地の消失を招いているなど多くの現象が報告されている。

作物生産への影響という点では、東京と鹿児島年平均気温の差は2.4℃であり、このような地球の温暖化が作物生産に及ぼす影響がいかに大きいか想像されよう。また、アメリカ合衆国では温度が1℃上昇すると、コーンベルトが北に175km移動するなどの予測がなされ、温暖化による影響がプラスにでる地帯とマイナスにでる地帯が存在することが予測されている。また、熱帯アジアではこれまで見られた明瞭な雨季と乾季がなくなり、乾期でも雨が増えると同時に、この乾期の最低気温(夜温)の上昇は近年の水稲の収穫量の減少と密接に関わっているとの報告もある(Peng et al. 2001)(図1)。わが国でも、

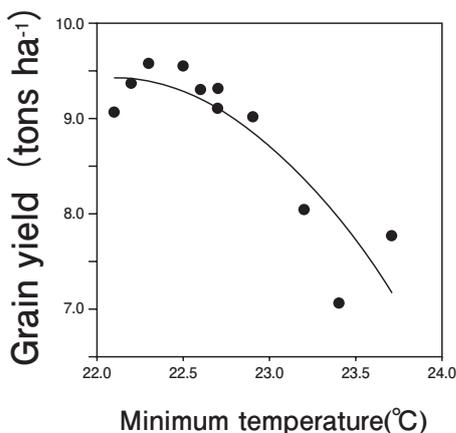


図1 熱帯稲作における近年の最低気温(夜温)と収量の関係(Peng et al. 2004)
各点は年次に対応

昨年稲作は、8-9月の登熟期には晴天が続き、日射エネルギーの量は多いにもかかわらず収量が思っ

たほど高くないなど生産農家にも温暖化の実態が体感できるに至っている。温暖化は地球の平均温度が上昇する現象ではあるが、温暖化程度は場所、季節などにより大きく異なるうえ、温度変化と並行して他の気象要因も変動する。作物生産に対する影響を見る場合にはこのような場所、季節による違い、温暖化と並行して起こる複合的な気象要因の変動についても十分に考慮に入れて考察する必要がある。温暖化による作物生産への影響については、すでに数多くのレビューも見られる(清野 1990、中川 2007)。ここでは、温暖化と作物生産を解析するうえでの基本的なアプローチを簡潔に述べるとともに、わが国の主要作物である稲についての最近の話題を中心に、温暖化が作物生産に及ぼす影響をとりまとめる。

わが国の温暖化の実態

表1 わが国のここ100年間の最低気温と最低気温の変化量

	最高気温	最低気温	日較差
全国(夏)	※0.56℃/100年	※1.30℃/100年	-0.74℃/100年
北日本(夏)	※0.27℃/100年	※0.80℃/100年	-0.52℃/100年
西日本(夏)	※0.92℃/100年	※1.60℃/100年	-0.68℃/100年

(注) ※は、統計的に有意。

中緯度地帯に位置する日本の稲作期間を対象に場所、季節などによる温暖化程度の変動を見ると、暖地ほど平均気温の上昇割合は高く(表1)、日中の最

表2 わが国のここ100年間の平均気温の年間および夏季(7-9月)の変化量

	年間平均	夏(7~9月)
全国	※1.06℃/100年	※0.87℃/100年
北日本	※0.96℃/100年	※0.45℃/100年
西日本	※1.15℃/100年	※1.17℃/100年

(注) ここでいう夏は、稲作にとって重要な7~9月とした。
※は、統計的に有意。

高気温よりもむしろ夜間の最低気温の方が温暖化により上昇しており、この結果日較差は小さくなっている(表2)。また、温暖化と密接に連動する可能性の高い気象要因の変動では、わが国で測定された二酸化炭素濃度は、現在382ppmでこれまで年約

1.7ppm の速度で増加してきた。また、世界規模で見ると異常な高温、低温の出現頻度は高くなっているとの報告もあるが、わが国に限ってみると、北日本などの一部地域を除くとこれまでのところは必ずしも一定の傾向はみられない。また、わが国では梅雨が作物生産に大きな影響を及ぼすが、この梅雨の期間あるいは梅雨明け時期が温暖化に伴ってどのように変動するかについては梅雨明けが明瞭ではなくなるとの予測はあるものの詳細については不明である。

温暖化と作物生産

温暖化が作物生産に及ぼす影響を把握するには基本的には温度と作物の発育、光合成、呼吸などの生理諸過程への影響を通じて解析するところとなる。資源植物には多くの飼料作物や葉菜類、根菜類などのように栄養器官を収穫対象とする場合と、穀類のように収穫対象が子実となる場合がある。この両者

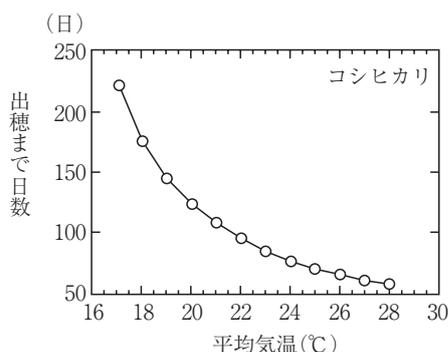


図2 平均気温と出芽から出穂までの日数(Horie et al. 2001)

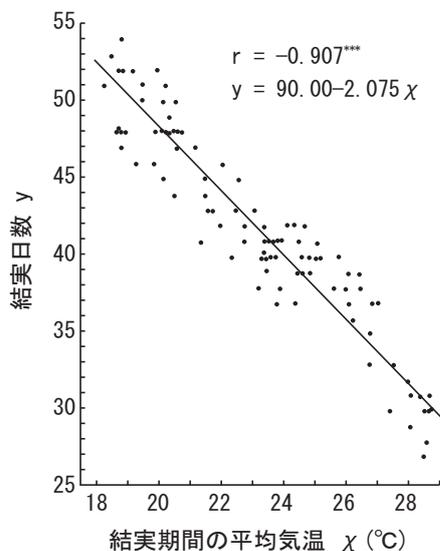


図3 登熟日数と登熟期間の平均気温(山川 1962) 各点は品種に対応

の間で温度に対する反応は大きく異なる。このような温度と植物の生長、発育についての研究は長い歴史を持っており、それを簡潔にレビューする。

1. 温度と発育

一般に温度が高くなるとと発育速度は速くなり、播種してから開花までの期間(堀江・中川 1990)(図2)あるいは開花してから成熟するまでの期間(山川 1962)(図3)は短くなるとされる。この発育速度が早いことは、光合成を行う期間が短くなることを意味しており、温度と葉の展開速度などの形質が一定とすると生長量は小さくなる。ただし、栄養成長期間では葉の展開速度が温度上昇に伴って増加

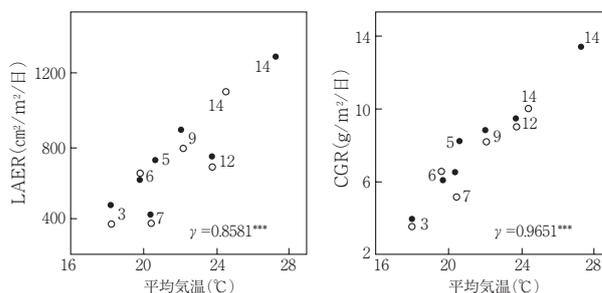


図4 平均気温と水稻の葉面拡大速度(LAER)、乾物生産速度CGR)の関係(Monsi and Murata 1970) 数字は測定場所、白抜きは早生種、黒塗りは晩生種

する(Monsi and Murata 1970)(図4)ため、個体群においては葉の繁茂量の増加による光合成量の増大と光合成を行う期間とのバランスで生長量は決まるところとなる。これに対し、葉などの栄養期間の成長が停止し、温度に伴って一方的に葉の老化が進行する生殖生長期間では光合成速度が低下し、成長速度は著しく低くなる。

2. 温度と光合成、成長

一般に、呼吸速度は温度に対して温度係数(Q10)が2と高いため、非常に敏感に反応する。これに対し、葉の光合成速度の温度に対する反応は呼吸速度ほど敏感ではない(図5)。しかし、一方で、温度上昇による呼吸速度の増大は主として葉の面積の拡大速度を高める。このため栄養生長期間では個体群の成長速度は温度上昇とともに高くなる。ただし、生殖成長期に入り、葉の展開が完了した後は、葉の老化が温度上昇により促進されるうえ、呼吸による消費量が大きくなるため個体群の成長量は著しく小さくなる。

3. 土壌からの無機塩類供給

温度が高いほど有機物の分解速度が高く、土壌からの塩類供給は低下する(Kages 1949)ことが明らかにされている。

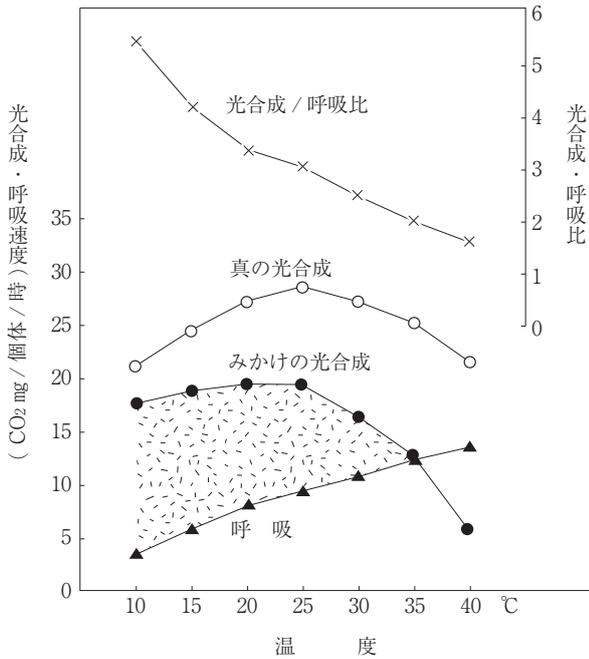


図5 ラジノクローバーの光合成速度および呼吸速度に及ぼす温度の影響 (武田・県 未発表)

4. 温度と収量、品質

栄養期間を収穫対象とする作物では温度は葉面積の拡大を通じて収量増につながる場合が多いが、三大作物を含む穀類では、受精後、子実が成長し、成熟するまでの登熟期間の温度上昇が大きな問題となる。この登熟期間の温度上昇は栄養成長期と異なり、子実の充実度、品質などに大きな影響を及ぼす。

1) 品質・食味への影響

温度は生合成の大きな律速要因であり、温暖化は品質、食味にも大きな影響を及ぼす。わが国の水稲では平成10年以後全国的に米の品質が大きく低下する年が目立ってきた。この品質低下は主として登熟期間が高温の年に限って見られる(寺島ら

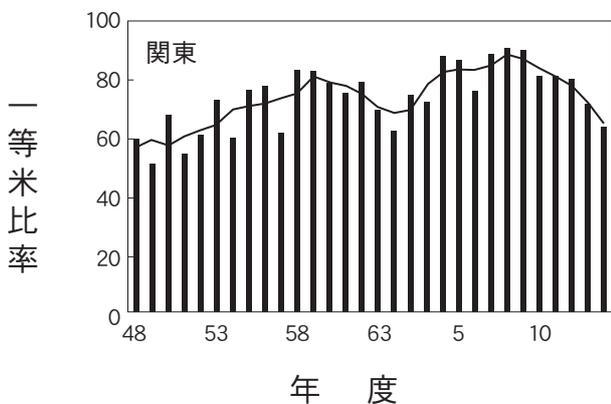


図6 関東における水稲一等米比率の推移 (農林水産省 2003 気象変動に適応した水稲生産技術に関する検討会資料) 棒線は年ごとの一等米比率を、折れ線は3年間の移動平均を示す。

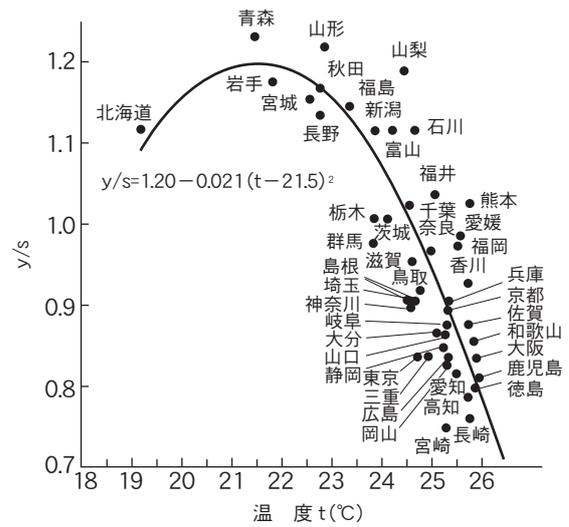


図7 各府県の8-9月の平均気温と水稲収量/日射量比の関係(村田 1964)

2001) (図6)。米の子実にデンプンが蓄積する過程が高温に遭遇すると一等米比率が大きく低下することによるとされている。デンプン合成系あるいは転流過程を通じて品質に影響を及ぼす。一方、食味についても影響を及ぼす可能性は高いが現在のところ品種による影響の方が強いいため温暖化との関連で取り上げられることは少ない。しかし、コシヒカリあるいはその兄弟品種万能の時代に入ると、暖地での食味がよい地帯はほとんど消え、北緯38度線に近い新潟、山形、茨城などが安定した良食味地帯となっている。温暖地に位置する滋賀県もかつて食味のよい地帯であったが、近年は全国的に見ると食味がよいとは言いがたい。温暖化に伴う食味に対する影響も今後検討の余地が大きい課題である。

2) 収量への影響

水稲では登熟期間の平均気温が21-22°Cを超えると一般に収量の低下傾向がみられる(村田 1961) (図7)。わが国の米の単収(単位面積あたり収量)が東北、あるいは長野のような高標高地で高く、温度の高い暖地ほど低い理由はこのような気象要因、特に、温度により説明されてきた。世界のイネの多収例を解析した結果も登熟期の平均気温の差により収量差が説明されてきた(Akita 1995)。高温は登熟期間そのものを短縮すると同時に、夜間の気温(最低気温)が高くなることにより呼吸消耗量の増大を来すためである。さらに、稲などでは35°C以上の真夏日が続く場合には不受精粉が発生する(Matsui et al. 2001、Prasad et al 2006)ことにより収量に大きな影響が見られる。この結果、温暖化により、これまでの最多収地帯である東北にかわって北海道が最多収地帯となり、温暖化程度の大きい低緯度ほど収量は低下するという傾向になるであろうとの予

測がなされている。

また、温暖化は二酸化炭素濃度の増加と並行して起こる。温暖化単独では収量に対しマイナスに働くとしても光合成基質である二酸化炭素濃度の上昇はこのマイナスを軽減する可能性もある。そこで、温度上昇と二酸化炭素濃度増加を考慮に入れた圃場試験が行われた。その結果、二酸化炭素の増加は温度上昇によるマイナスを軽減するどころか、不稔を通じて収量にマイナスに働く場合があることが明らかにされた(Ziska et al. 1996)。

一方、農林水産省では、水稻のここ5ヵ年にわたる九州での不作、北海道での2年続きの豊作などの事情を背景に水稻収量にも温暖化の影響が顕在化しているのではないかという点について検討を行った。その結果、九州など西南暖地では夜間の高温による収量への影響が見られ始めていると解釈されるが、北海道の当面の豊作は主として技術の進歩によっており、温暖化が原因とは断定できないことを明らかにした。

5. 温暖化と並行して起こる環境変化と作物生産

1) 降水量、積雪量、日射量、台風の変化

温暖化に伴う温度の予測に比べると降水量などの予測精度は低いとせれるが、降水量の変動は大きくなるとされている。したがって、降水量の増大による洪水、土壌浸食が懸念される一方で、干ばつ害も懸念されている。わが国の冬の降水量は近年明らかに少なくなっている(表3)。

表3 わが国の平均降水量平年比の季節による変化程度の違い

年間平均	-5.6%/100年
夏(7~9月)	-3.3%/100年
冬(12~2月)	※-19.8%/100年

(注)※は、統計的に有意。

これにより田植時の水不足、越冬害虫の個体数の増加などによる被害の増加などが懸念されているが、顕在化した事例は少ない。また、日射量あるいは強い台風の発生回数などには今のところ温暖化に伴う一定の傾向はみられない。

2) 生態系の変化

冬の気温上昇により野生生物の越冬が容易となり、獣害の増加が懸念されている。ただし、野生生物の個体数が実際に増加しているかについてのデータはほとんどない。このほか渡り鳥の飛来時期の変動、ジャンボタニシ(リンゴスクミガイ)類の北上な

どは稲栽培、特に、直播栽培においては播種時の被害などを通じて間接的に影響を及ぼすことが予想されている。また、昆虫の越冬個体数、ウンカ類の飛来数などは病虫害の発生を通じて大きな影響を及ぼす。

シミュレーション研究

上述した気候、気象のこれまでの変動をもとに、まず、IPCCの報告に見られる様な気象、気候の予測モデルを作成するところとなる。このモデルによる予測をもとに、これがどのように作物生産に影響を及ぼすかについて検討することになる。これを検討するにあたっては、小規模のモデル実験あるいはシミュレーション手法によっている。このシミュレーションにあたっては、前述した発育、成長過程をモデル化することが必要となる。このようなモデル化についても、数多くの報告がなされてきた(堀江・中川 1990、Penning de Vries 1982)。初期のシミュレーションでは、世界の平均気温が何度上昇した場合、世界、あるいは国単位の気象、作物栽培地域がおおよそどの程度影響を受けるかという粗いものであった(内島 1987)が、最近では地域ごとのあるいは季節ごとの最高気温、最低気温の動向予測までを取り入れ予測精度が多少高いものになりつつある。また、コンピューターなどを駆使した動画による予測など一般市民にもより理解されやすい表現方法もとられるに至った。グローバルな気候、気象変動モデルからの情報の精度が高くなるほど作物生産への影響についてのシミュレーションの精度も高くなる。しかし、作物自体の温度などに対する反応などの知見は近年それほど目新しいものが加えられたわけではない。

温暖化に対する技術的対応策

温暖化による作物生産への影響がマイナスであれば、当然のことながらこの被害を軽減するために種々の技術開発がなされる。この技術対応によって現在の作物生産への予測も大きく影響を受けるところとなる。温暖化の程度にもよるが、温暖化が徐々に一定の傾向で変化する場合には技術的対応はある程度可能な場合も多い。たとえば、東京の平均気温が鹿児島並みの温度になった場合には、現在鹿児島で行われている栽培技術、品種などを東京に適用することによりある程度は解決されよう。しかし、この場合、日長などは温暖化による影響を受けないため、品種についてはそのまま適用できるとは限らない。品質についても、温度が品質低下の引き金であることは明らかであるが(中川ら 2007)、高温とい

うスイッチが入っても直ちに品質低下につながるわけではなく、施肥の見直しによる過剰もみ生産の抑制・登熟の向上、水温の制御、作期移動などの方法により品質低下を軽減することがある程度可能であることが明らかにされつつある。また、インド型品種の多くは現在予測される温度上昇程度では品質への影響が少ないことも明らかである。収量についても品種が日本型品種である場合には最高収量をもたらす登熟期の平均気温は22℃近辺であるが、インド型品種ではこれが異なる可能性は高く、品種により温暖化による影響を軽減できる可能性はあろう。

現在のところインド型品種と日本型品種の交配は困難を伴うが、橋渡し品種、あるいはバイオテクノロジーの進歩もありこれらの形質を日本型品種に導入の余地もあろう。また、温暖化に伴い土壌からの無機塩類の変動に対応した施肥体系の見直し、病虫害の変動に対する防除体系の見直しなどが必要となる。

温暖化に対する技術対応上、より大きな問題は、温度、その他関連する気象要因の変動がこれまで以上に大きくなることである。現在のところわが国の稲作期間に限ってみると温度については変動が大きくなるという傾向は北日本を除くと認められないが、世界規模での気象変動は大きくなっているとの指摘もある。温暖化が温度変動の増大を伴う場合の技術的対応については今後ストレス耐性の向上など研究のさらなる深化が求められる。

おわりに

温暖化を取り巻く最近の事情としては、IPCCの活動がノーベル賞を受賞するなど温暖化が世界的な政治的課題として取り上げられるに至ったことがあげられよう。化石エネルギーの価格高騰などエネルギー問題とも関わり、エタノール、バイオディーゼルなど資源植物からのエネルギー生産が世界的に広がりを見せている。本来は食糧などの生産を使命としてきた農業がエネルギー生産の面にも深い関わりを持つに至った。ブラジルではサトウキビがエタノール生産に向けられたため国際的な砂糖の価格が高騰し、アメリカ合衆国でもトウモロコシがエタノール生産に向けられたため、飼料の価格が高騰した。このため、わが国の畜産農家に大きな打撃を与えると同時に、間接的には、自給飼料の重要性が叫ばれ、飼料用米が突如として再検討を始められるなどの現象がみられる。

このように、温暖化がオオカミ少年の様に取り扱われていた時代はすぎ、人々に温暖化が体感できる時代となり、世界的にも大きな関心を呼ぶに至った。

しかし、温暖化を巡る科学が急速に進んだために話題となっているわけではない。温暖化と作物生産についての研究自体はかなり古くから行われており、シミュレーションモデルの精度が多少向上した点を除けば、研究自体には最近目新しい事実が解明されたところはそれほど多くはない。

特に、温暖化のメカニズム、大気循環モデルの精度向上などは今後一層の研究の進展が期待されている分野であろう。また、温暖化に対応する新たな技術開発などの情報が加味されたより精度の高い予測モデルへも開発されるものと考えられよう。また、鳥インフルエンザ、森林火災、大干ばつなど温暖化と並行して起こる予測しがたい環境変化、生産を取り巻く環境の不確実性は明らかに高まっている。このような予測の困難な将来に対応するためには、これまで以上に研究・技術開発が重要となる。技術開発は時間を要するうえ、獣害の問題のように野生生物の保護などと利害が対立する問題もあり、今後の対応は困難となるため、温暖化に関わる幅広い分野での着実な研究、技術開発が求められている。今後、温暖化に対する種々の行政的施策も採られることになろうが、このような施策に対して信頼性の高い科学的根拠を与えるうえでも温暖化についての科学の進歩は不可欠である。

参考資料・文献

- IPCC 2007. Climate Change 2007. The physical science basis. Summary for policymakers.
Matsui T., K. Omasa and T. Horie 2001. Plant Prod. Sci. 4. 90-93.
村田吉男 1964. 日作紀33. 59-63.
Peng, S. J., Huang, J. E., Sheehy, R. C., Laza, R. M., Visperas, X., Zhong, G. S., Centeno, G. S., Kush, and K. G. Cassman 2004. PNAS 101. 9971-9975.
農林水産省大臣官房統計部生産流通消費統計課 2007. 水稻平年収量に関する検討会資料
山川寛1962. 佐賀大学彙報 14. 23-59.
堀江武、中川博視 1990. 日作紀 59. 687-695.
Ziska, L. H., Manalo, P. A., Ordonez, P. A. 1996. J. Exp. Bot. 47. 1353-1359.
Prasad, P. V. V., Boote, K. J., Allen, L. H., Sheehy, J. E., Thomas, J. M. G. 2006. Field Crop Res. 95. 398-411.
中川温子、糟野瞳、堀田悟、淀誠宏、秋田重誠 2007. 近畿作育研究 52. 15-20.
Kages, K. H. W. 1949. Ecological Crop Geography. MacMillan Co.
Akita, S. 1995. International Rice Commission

Newsletter 44.21-32.

中川博視 2007. 巽二郎編著 地球環境と作物
23-35. 博友社 東京

内島善兵衛 1987. 清野(1990)により引用。

清野豁1990. 農業環境技術研究所編 地球環境と農
林業 45-69. 養賢堂 東京

寺島一男、齊藤祐幸、酒井長雄、渡部富男、尾形武
文、秋田重誠 2001 日作紀 70. 449-458.

Monsi, M. and Y. Murata 1970. Prediction and
Measurement of photosynthetic productivity.
Center for Agricultural Publishing and
Documentation. Wageningen.

Penning de Vries, F.W.T and H.H. van Laar
1982. Simulation of plant growth and crop
production. 308pp. Pudoc., Wageningen .

古民家をエコ民家に

～平成19年度特別研究「大学における持続的な地域連携のあり方に関する研究」経過報告～

鵜飼 修

環境計画学科

大学院「近江環人地域再生学座」担当

1. はじめに

近年、各大学で様々な社会貢献、地域貢献活動が実施されている。

本学では、平成16年度文部科学省の現代GPに採択された近江楽座の活動を通じて、学生による地域貢献活動を実施しており、同省の支援が終了した平成19年度以降も独自に事業を継続している。

地域貢献活動には様々な種類がある。例えば学生によるボランティア活動も地域貢献であるし、教員による研究活動や委員会活動も地域貢献である。

平成19年度の特別研究に採択された本研究は、それら大学による地域貢献活動のなかでも、持続的、継続的な「まちづくり」に論点を絞り、それに寄与する地域貢献のシステムを考察するものであった。

研究対象は、豊郷町で実践されている学生によるまちづくり支援活動である「とよさと快蔵プロジェクト」である。以下に研究の経過を報告する。

2. 研究趣旨

大学による地域貢献活動が継続するということは、大学が地域に関わり続けるシステムを有することである。近江楽座での活動は、学生の意志が継承され、かつコンペティションに勝つことで継続性が担保される。そして当然ながら大学の予算が確保されることが大前提である。

しかし、これらの要素はいずれも不確定で、長期間でまちづくりを考える地域にとっては、一過性のものになりかねない。もちろん短期で関わることで十分にまちづくりに寄与する場合もあるが、大学と地域が互いに連携し継続的なまちづくりを実践するシステムとしては不十分である。

そこで本研究では、大学が継続的に地域と連携することが可能なシステムを考察した。

3. 対象地域と対象プロジェクトの概要

本研究対象の豊郷町は、彦根市の南東に位置し、人口7,418人(世帯数 2,317世帯)、面積7.82平方キロメートルで、中山道を中心に形成された街道町である。旧中山道沿い集落と、田園集落で形成されるが、それら集落内には新居への住み替え等で多くの空き家が存在すると言われている。

NPO法人とよさとまちづくり委員会は、そのような集落の一つである吉田区を拠点に、地域を元気にしようと町内の若手が集まり始めた活動である。

同委員会の活動は、平成12年に地区内の空き蔵の解体情報を入手し、持ち主に交渉して改修・再生させたことから始まる。平成16年には、本学の学生と共同で古民家を解体したことをきっかけに、学生ボランティアグループ「とよさと快蔵プロジェクト」が生まれた。その後、年におよそ1軒のペースで古民家や蔵の改修を手がけ、学生達は、自ら改修工事にかかわった学生達がそこでの共同居住(シェアハウス)を実施している。そして、この快蔵プロジェクトは、平成16年から4年連続して近江楽座に採択されている。

4. 研究内容

本研究ではこのような状況において、大学と地域との持続的な関係がどのような形となり得るのかを、プロジェクトを進行しつつ調査した。

(1) プロジェクトの構成

プロジェクトは、大きく3つの視点で構成した。ひとつは、古民家を改修する意義の再構築、ふたつ目は地域の自立的な活動の模索、そして、三つ目は町の施策としての位置づけである。

(2) 改修する意義の再構築

改修する意義の再構築とは、これまでの快蔵プロジェクトの実践手法を尊重しつつ、本学が取り組むに足る形の構築である。このひとつの形として今回は「エコ民家」というコンセプトを導入した。

エコ民家とは、地球環境に対し、持続可能な人間の営みの場であった古民家を、現代の若者達でも快適に暮らすことが可能で、かつ地球環境への負荷を抑えた暮らしの実践の場へとコンバージョンさせたものである。そしてそれは同時に、地域に住まうことの意味とコミュニティの中に暮らす豊かな生活の再認識の場でもある。

そして、このエコ民家への改修は、単に学生達が建設工事の経験を得るだけではなく、その地域の風土、文化をも学びつつ、環境への負荷を抑制する暮らしを実践するという、多重の意味での学生の学びの場となるのである。

このような切り口で表1に示す研究テーマを設定し、近江環人受講生や卒業生(CA)を含めた、学部横断的な研究チームを構成しプロジェクトを実施した。

表1 エコ民家プロジェクト実施項目一覧

項目	概要	担当・指導等
耐震診断/改修	建物の内外装をしつらえる; 実測調査/設計/耐震診断/耐震改修/内外装改修/建具改修	快哉/松岡/笠原(CA)/田中工務店
室内環境	改修前後の快適度合いをデータ的に検証する; 湿度計測・評価	快哉/伊丹
水廻り	近い水の生活空間を現代的に再構築; 井戸水利用, 五右衛門風呂, コンポストトイレ, 雑排水処理, オグドサン再生	快哉/仁連/鶴飼/笠原(CA)/金(M2)/宮川石油
エネルギー	自立的なエネルギー供給システムの導入; 太陽光発電パネル+高輝度LED照明/薪ボイラー(バイオマス利用)	河崎(工学部)/奥野(M1)
庭づくり	食料自給率を高めるとともに快適で美しいライフスタイルを実現するための庭; 畑での野菜づくり/皆が集える庭づくり	快哉/奥野/松本(鶴飼研)
マニュアル作成	家主の思いの調査, エコ民家におけるライフスタイルのあり方についてマニュアルとりまとめ; 吉田の水文化を調査	河崎(人間文化学部)/亀山(CA)/金(M2)
エコライフ実験	エコ民家での健康なライフスタイルを実践しその効果を明らかにする; 食事・運動・記録, 分析	滝澤(人間看護学部)/快哉/鶴飼
CO2算定	エコ民家の活用によりCO2排出量が効果的に抑制されることを検証する	高橋/野間
電気自動車利用	風力発電の電気により充電された電動カーを通学で使用することでCO2排出量を検証する	河崎(工学部)/快哉
*「エコ民家フォーラム」の開催: 地域づくり調査研究センター 奥野		
*フィールドワーク(道田)の集落調査とも連携		

(3) 地域の自立的な活動の模索

地域の自立的な活動の模索とは、地域の人々による主体的かつ持続的な活動の実践の形を検討することである。本プロジェクトにおいては、NPOが自立的に活動を実践できる事業スキーム、運営体制を持つことである。この点については、すでに古民家を改修し、学生のシェアハウスとして提供する事業スキームが存在しており、利益を第一としない地域事業すなわちコミュニティ・ビジネスとして成立の可能性があった。

本研究においては、ユーザー側となる本学学生に古民家について意識調査を実施(n=194)した結果、「是非住んでみたい」=15件と「条件が合えば住んでみたい」=87件とを合計すると約半数が興味を示す結果が得られた。学生は、滋賀県の地域資源である古民家に対して興味を示しており、条件を適切に整備すれば地域事業として展開できる可能性があることが明らかとなった。しかし、これには運営体制を含め、条件を如何に整備するかが課題である。

(4) 町の施策としての位置づけ

町の施策としての位置づけとは、地域資源としての古民家の活用を、町の施策の中に如何に位置づけるかである。この点については、本研究の例会に町

役場の職員も参加しており、現在策定中の町の総合計画へ何らかの形で反映が期待される。

以上これら3つの取り組みを総合的に推進することで、大学における地域連携のあり方を検討している。

5. 今後の課題と展望

今後の課題と展望として以下の2点が挙げられる。

1点目は、NPOと学生とのコラボレーションには両者のモチベーション(人材、資金も含めて)を維持する仕組みが必要であるということである。

吉田ではNPOも学生も互いに暗黙の了解のもとで楽しみながら活動を実施している。しかし、それは同時に責任の所在が不明確で、継続的なまちづくり活動としては不安定である。この解決には、継続的支援が可能な大学や町などが、両者に適切に働きかける仕組みを構築することが求められる。この形はまさに、大学による持続的な地域連携の形であるが、継続的コスト負担は好ましくはなく、NPOによる自立的な事業を基本とすることが必要である。

2点目は、「集落ステイ」の可能性である。

アンケート調査では古民家に対する学生の関心の



図 エコ民家イメージスケッチ(画: 増井みのり)

高さが明らかになったが、同時に生活費をみると、家計への負担も大きいというデータも得られた。吉田での取り組みのように、集落において主体的な担い手が存在し、集落が学生の受け入れに理解を示すのであれば、大学が仲介役となって学生を集落に斡旋することで、学生はこの地域でしか味わえない貴重な経験を得、同時に生活コストの抑制＝時間の創

造を図ることができ、また、集落にとっては、活性化のきっかけを得られ、大学にとっては、特徴的な教育の場・形態を得ることができる。

このように集落ステイの取り組みは、地域にも、学生(ご家族)にも、そして大学にもメリットのある持続可能な地域連携を築く取り組みと期待できる。

ペロタクシーは地球を救えるか？

近藤隆二郎

環境計画学科

環境社会計画専攻

NPO 法人 五環生活

1. ペロタクシー走っています！

(1)「ペロタクシーひこね」2007

彦根城を中心とした市内周囲にペロタクシーが颯爽と走っています(図1)。「ペロタクシーひこね」¹⁾



図1 彦根市内を走行するペロタクシー

は、2007年4月から走行を開始し、12月末に2007年度の運営を終えました。数多くのイベントでも利用され、3台で年間7,769人あまりの方を乗せることができました。「人と環境にやさしい」ペロタクシーは、単なる観光的な乗り物ではなく、来たるべき環境時代を先駆するモビリティとしてますます脚光を浴びるものと予想されています。

NPO 法人五環生活が運営する「ペロタクシーひこね」は、ペロタクシーを3台保有しており、彦根市内の通常走行エリアでは、8ヶ月間(4月～11月)で、5,956名のお客様にご利用いただきました。およそ1日に35人の方にご利用いただいたこととなります。1日1台あたり10人以上のお客様をお乗せしました。通常走行エリアとは別に、市内外のイベント会場等においてペロタクシーの試乗体験も頻繁に行いました。2007年6月から11月までの6ヶ月間で、26件のイベントに参加し、1,813名のお客様にご乗車いただきました。イベント会場では、1日1台あたり100名～150名ほどご利用いただいたこととなります。どの会場においても、イベントの目玉として、ペロタクシーを待つ長蛇の列が途切れない程でした(図2)。また、彦根市内の小学校5校において、ペロタクシーを用いた出張授業を行いました(図3)。

ペロタクシーの乗客を対象にしたアンケート調査



図2 イベント会場のペロタクシー



図3 彦根市内小学校で出張講座を開くペロタクシー

も行いました²⁾。乗車後の感想としては、「ドライバーの接客態度が良かった」「ドライバーとの会話が楽しかった」「ドライバーとのコミュニケーションが楽しかった」といったドライバーに関する感想がとても多く、親切で気さくなペロタクシードライバーのファンとなるお客様もいたほどです。「環境に良い乗り物だと思う」「ペロタクシーに乗るのは三回目だけど、やっぱり何度乗っても楽しいです。また乗りに来ます。」といった言葉もありました。ペロタクシーを再度利用したいかについて聞いた質問では、8割以上のお客様から「また利用したい」との回答をいただきました。ペロタクシーの写真を撮影するために、彦根市まで来たお客様もいらっしやっただけです。ペロタクシー車体広告の印象について聞いた結果では、「好印象」「どちらかという好印象」を合わせると、約9割の方が車体広告の印象が良いという感想でした。

是非見かけたら気軽に乗車してみてください。ちなみに、ペロタクシードライバーも募集しています。

(2) 自転車タクシーとは

自転車タクシーは、アジアやヨーロッパを中心に運行されています。アジアでは、都市から農村まで広い地域で走行し、簡易で安価な移動手段として利用されています。しかし大都市においては、他の交通の妨げになるとされて、走行規制を受けている場合もあります。地方から都市に出稼ぎに来た人がドライバーとなって働くというケースが多いともされています。アジアでは、自転車タクシーを“手軽な近距離交通手段”と“雇用先”という点で利用しています。

最近になって自転車タクシーが広まりつつあるヨーロッパやアメリカでは、アジアとは異なる位置づけで利用されています。それは、まずは“環境にやさしい交通”という点です。従来の交通は化石エネルギーを利用しますが、自転車タクシーは動力は人力であるために、化石エネルギーの消費及び排気ガスが無く、クリーンな交通として見直されています。二つ目は“スローな速度”です。自転車タクシーは時速11km程度で、人の歩く速度に一番近い交通とされています。他のモビリティに比べて速さが遅いため、観光といった地域散策の手段としても利用されています。

若い人は知らないでしょうが、日本においても、1950年代頃まで各地で自転車タクシーが走っていたのです(図4)。「輪タク」や「更正車」「国策車」など



図4 “輪タク”の写真(江戸東京博物館所蔵)

と呼ばれており、物資の不足した戦後には欠かせない乗り物でしたが、自動車が主要交通となった以後は消え去っていきました。2002年にドイツ製自転車タクシーであるペロタクシーが京都で走行を開始し、それ以来国内20以上の都市に導入されてきてい

ます。また、2005年日本国際博覧会(愛知万博)においては、国内メーカーによって3種類の国産自転車タクシーが開発されました(残念ながら国内メーカーは開発から撤退)。

日本においてペロタクシーを導入している地域は、大都市や地方観光地が中心であり、どの地域でも走行しているわけではありません。地域によっては、道路交通法施行細則によっては運行が出来ない場合もあり、高額な車体と共に容易には導入できないのが現状です。しかし、自転車タクシーは、今後多くの地域において普及が期待される交通手段であると考えられています。

(3) ペロタクシー(velotaxi)とは

「ペロ(velo)」とは、ラテン語で「自転車」を意味します。ペロタクシーは、ドイツで1997年に「環境にやさしい交通」というコンセプトのもとに開発された自転車のタクシーです。現在ヨーロッパ各国で市民の新しい交通手段として活躍中です。発祥地であるドイツの連邦議会は、ドイツ全土に自転車タクシーを走らせることを許可しました。日本でも2002年京都を皮切りに、東京・松本・大阪・奈良・那覇・神戸・喜多方・広島・仙台・福岡・熊本・長崎・横浜・彦根・敦賀・名古屋・札幌・宮崎・大分・新潟などでも運行が開始されています。

排気ガス“ゼロ”のペロタクシーは、バスや鉄道といった公共交通機関を補完する乗り物として、ヨーロッパ各国で市民や観光客の足として親しまれています。風を感じながら爽快に走り、街中でレジャー気分が味わえる乗り物で、ゆっくりした時間におけるドライバーとのコミュニケーションも魅力のひとつです。遊園地のアトラクション感覚で楽しむ子ども連れの家族や、バスや地下鉄に乗るほどでもないけれど歩くには遠いから乗車するお年寄りまで、幅広い年齢層の方が乗車しています。最小人数おひとり様からの貸し切りが可能で、観光バスや自動車では通ることができなかった場所も走行できる、環境にやさしくかつ新しい観光を楽しむことができます。ペロタクシーを使ったゆったりとした散策は、街の景色や空気をとても新鮮に感じることができます。

国内では、既に20都市をこえてその走行範囲は広がりがつあります。今後ますます導入が見込まれる分野です。しかし、運営のビジネスモデルは車体広告依存であって、大都市では成立していますが、地方都市においては、運営にかかるコストは広告収入だけでは厳しく、広告に依存しない地方版ビジネスモデルのあらたな構築が必要とされています。

2. 地球温暖化問題と自転車

(1) 低炭素社会ビジョンにおける自転車

ベロタクシーと地球環境問題との関係について探ってみましょう。2008年は洞爺湖サミットや京都議定書発効初年といった環境元年とでも言うべき年でもあり、地球環境問題への取り組みや啓発の動きがとても活発になってきています。低炭素社会、脱石油社会への脱皮を目指して、温室効果ガス削減量を各部門別にすすめることが急務となっています。国内で考えると、2005年度における国内の温室効果ガス排出量は、1990基準年比で6.4%上回っており、京都議定書の6%削減約束の達成には、7.0%以上の排出削減が必要です。ドイツ(-18.4%)や英国(-14.8%)が大幅な削減を達成しているのに対して、アメリカ(+16.3%)に追随するかのようになっています。

排出量全体の約20%を占める運輸部門におけるCO₂排出量は、2001年以降、減少傾向にはあるものの、目標達成計画では、2010年には基準年比+15.1%増とされています。交通運輸活動が日本社会に不可欠とされてのやむなしという評価でしょうか。国土交通省による運輸部門における地球温暖化対策としては、「自動車交通対策」として、「自動車燃費のトップランナー基準」「自動車単体対策及び走行形態の環境配慮化」「交通流対策」「道路整備」が挙げられ、「環境負荷の小さい交通体系の構築」としては、「物流の効率化」と「公共交通機関の利用促進」が具体的対策としてあげられています。「自動車」交通が主要な移動ツールとしてあまりにも幅広く利用されているためか、「自転車」の表現は主要施策まではなかなか出現しませんが、「環境的に持続可能な交通(EST)モデル事業の推進」において、「歩行者・自転車対策」として、「歩道、自転車道、駐輪場等の整備」が表現されています。具体的な施策としても、2008年1月には、全国で98箇所の自転車通行環境整備のモデル地区を指定し、「欧米並みの自転車先進都市形成」を進めていくと述べられています。

また、2050日本低炭素社会プロジェクトチームによる「2050日本低炭素社会シナリオ：温室効果ガス70%削減可能性検討」(2007)においては、「歩いて暮らせるコンパクトな街づくりの促進、歩行者や自転車利用促進のためのインフラ整備」として自転車政策が挙げられています。

自転車がやや末梢的な扱いである国レベルのビジョンに対して、より積極的に自転車交通について評価しているものが、2030年において1990年比で温室効果ガス50%減等を目指している「持続可能な滋賀社会ビジョン(素案)」³⁾です。「低炭素社会の実

現に向けた対策・施策」の「運輸(旅客輸送)」部門として「自転車タクシーの導入」も挙げられています。さらに、4つ挙げられた重点プロジェクトのひとつのテーマとして「持続可能な交通システム」が設定され、「都市における移動手法としては、長距離移動は鉄道を利用し、家から駅までの移動と駅から目的地までの移動を『マイカー』から『徒歩』『自転車』『バス』に転換する交通ネットワークを形成することが重要です。公共交通機関の充実や、徒歩・自転車のための安全な交通環境の整備は、高齢社会への対策としても必要となります。ここでは、『マイカーをより温室効果ガスの少ない手段にシフトさせる』という交通マネジメントの取組を進めるために、『自転車利用の促進』と『新交通システム(バス利用)の導入』の2つを提案します。」⁴⁾とあるように、自転車利用が大きく取り上げられています。注目すべきは、「市街地が平坦で、9割以上の方が駅から5km圏内に住んでいる」という滋賀県の特性を活かし、通勤や日常生活の移動手段として自転車の利用しやすい環境を整備する」⁵⁾という部分です。

マイカーは、家電内のエネルギー、ゴミ排出といった行動と比較して、独立したシステムであるため、個人や世帯の考え方に沿って利用を制御しやすいものです。石油の価格上昇に連動して、マイカー制限を考える時代と言えます。

(2) 交通問題は待たなし

では、マイカーから公共交通にどのようにシフトしていけるのでしょうか。それはかなり難しいとされています。ドア to ドアでかつ楽ちんな移動手段であるマイカーを制限するのは容易ではありません。マイカーの持つ環境負荷が留意されることはほとんど無く、では自転車やバスに移行するとしたら、「雨の日は?」「荷物は?」「夜は?」「一時間に一本しか無い」といった声に答えきれずに定着できなかった経緯があります。とくに自転車利用については、そもそも日本において自転車の位置づけがあいまいであることに加えて、走行環境が貧弱なことと、自転車ドライバーのマナー悪化や放置自転車問題等がクローズアップされ、悪者とされることもあります。

もちろん、交通バリアフリーの関係から考えれば、国民全員が自転車に乗る必要は無いでしょう。ですが、古倉によれば⁶⁾、自動車利用が自転車に転換する目安の距離は5km以内とされており、この5km以内の自動車のトリップ数は、実に49.3%も占めるということがデータから示されています(H11全国都市パーソントリップ調査)。簡単に言えば、ちょっとそのへんまでの買い物や移動に車が使

われているということで、そこを自転車に変えようというのです。

(3) 自転車政策のポジショニング

自転車とは不思議な存在です。ほとんどの人が乗り、さらに日常的に保有しているにもかかわらず、まちづくりや行政計画などで主体的に扱われることはほとんどありませんでした。日本では、道路交通における自転車の取り扱いが「あいまい」であることがその源の最たるものでしょう。自転車は軽車両なので、本来は車道を通行しなければなりません。ですが、「自転車歩道通行可」の標識がある場合にのみ歩道を通行できます。欧米では、歩道を自転車が通行することはほぼありえません。乗り方がそもそも異なり、ヘルメットをかぶってかなりのスピードで車道を走っています。車道に自転車専用レーンがある場合も多いのです。日本のようにダラダラのんびりと自転車に乗っていることはあまりないのです。その意味では、日本における自転車とは二種類として区別した方がよいとも考えています。「歩道を通行するゆっくり自転車」と「車道を通行するスピード自転車」に分けることで、その現場の混乱がひとつ無くなる方向ではないかとも思います。

環境や健康に良いとされる一方で、悪者扱いをされたりする自転車ですが、別の観点からとらえる方向も出てきています。それは、福祉交通の視点からです。「交通バリアフリー法」(2000)、「高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律」(バリアフリー新法,2006)により、低速度交通が醸し出すふれあい文化の再評価がされつつあります。移動手段としての自転車は、ゆっくりとしたスピードも可能であり、そのことが低速度交通の拡張基礎としても評価できます。さらに、自動車や自動二輪は、法律によって乗車年齢の下限がありますが、自転車にはありません。幼児子どもから乗ることが可能です。この当たり前に自転車に乗るということを顧みると、実は「人格形成としての自転車」を再評価することもできるでしょう。つまり、学習ツールとしての自転車である。自転車を乗りこなしたり、解体したりすることは、身近な機械を制御する大切な道具とモノとの感覚をはぐくむ機会の提供なのです。

自転車交通のメリットは、主体別に網羅的に整理されています⁷⁾が、今後は、行政だけでなく、企業や商店街なども協力して自転車利用について積極的に取り組む必要があると思われます。

3. ペロタクシーの第2ステージへ

(1) 現状

公共交通活性化のなかで、自転車普及に取り組んでいく予定ですが、そのなかでのペロタクシーとはどういった位置づけになるのでしょうか。まずは、(三輪)自転車であることから、自転車利用のシンボリックな存在となるでしょう。自転車のもつ可能性を広める先鋒となることは間違いないし、自転車好きを増やすことにも役立つ。とはいえ、ペロタクシーそのものの普及を目的の一番においておきたい。珍しさで注目されてはいますが、駅を降りたらいつもペロタクシーが普通に客を待っているような情景を夢想しています。

ペロタクシーひこねの2007年度実績からは、ガソリンタクシーと比較換算したCO₂削減量を出しています。このことを評価して、削減したCO₂量をスポンサー企業や乗客、ドライバーに還元するようなポイントシステムをも考えていきたいとも考えています。

(2) for 公共交通(public transport)

ペロタクシーひこねでは、観光客による利用が相対的には多いのですが、将来的には、より地元市民の方々に利用していただきたいと考えています。バス交通等を補完するニッチ的な公共交通としてのペロタクシーです(図5)。既に、塾の送迎車として利用が定着しつつある事例(ペロタクシー福岡)や、同じコースを何回も通行して地域利用が定着する事例(ペロタクシー熊本)などがあります。あるいは、アジア都市における自転車タクシーを想像して、その運行数を増やすということを目指すのもひとつかもしれません。



図5 敦賀駅前国道におけるペロタクシーを用いた社会実験(2007.10) ※敦賀ペロ2台と彦根ペロ2台で実施

(3)for 観光(tourism)

カーボンオフセットのしくみを内在したツーリズムが準備されつつあります。著名なものでは、「カーボンオフセットツアー」と称して、飛行機利用によるCO₂負荷相当のオフセット相殺分を料金にオンされているものがあります。このしくみを応用し、カーボンフリーとしての「ペロタクシーツアー」を設定してはどうでしょうか。そもそもが環境負荷を前提とした代償行動としての価格設定ではないために、むしろ他ツアーよりも安くなるという利点があります。つまり、安い・環境によい・身体によい・後ろめたさが無い、という真の観光環境ツアーと呼べるのではないのでしょうか。

(4)for 福祉(welfare)

道路運送車両法においてペロタクシーが関係するのは、定義を除けば軽車両の保安基準についての項目のみです。これに基づく政令により、車両の大きさ、タイヤの接地圧、制動装置、座席の寸法、警音器の装備などの基準が定められています。車両の登録や法定検査(車検)については求められていません。ペロタクシー車両はすべてこの基準に適合しています。なお、道路運送法(タクシー事業、バス事業等の運営に関する法律)では、軽車両を用いた事業については適用外です。

「ペロタクシー喜多方」では「シルバープラン」を実施しています。シルバープランの目的は、地域のお年寄りのための施設とタイアップし、次のような内容で運行しています。①ゆっくりとした外出・買い物等を行い、気分転換を図る。②昔の懐かしい街並み、昔の記憶、現実的な生活を思い出す。③共通の話題から、友人や家族との絆を深める。これらの目的で、週に何回かのペースでお年寄りとお年寄りとお年寄りがふれあい、地域の理解を深めるとされています。

ペロタクシーひこねでは、障がい者水泳教室の皆さんを対象として、ペロタクシー城内特別観光を2007年8月と9月の2回行いました。黒門から入城し、城内の梅林までペロタクシーでお連れしました。「観光の説明が良かった。」「大好きながたがた道を選んでくださり、楽しかった。」「風が気持ちいい。自然が豊かで涼しかった。蝉の声がよかった。」「黒門から大手門を一周できたらもっとよかった。」「天守閣が見たかった。」といったご感想をいただきました。この他にも、身体の不自由な方の彦根城への観光手段として使えないかという問い合わせを社会福祉協議会や福祉団体等から何件かいただきました。また、病院の送迎に使えないかといった宅老所等からの問

い合わせもいただいています。とりあえずは、現在走行エリア内の団体等とじっくりと話をさせていただき、試行的にはじめていきたいと考えています。

(5)for 運送(transport)

自転車の弱点には、その荷物搬送能力があります。自転車専用のトレーラーなどもありますが、ペロタクシーは乗客を乗せることができるので、運送業にも車体は使用可能です。買い物帰りに荷物を載せるためにペロタクシーをご利用される方もいらっしゃると思います。既に、都市部等で宅配便などを自転車で配達している事例も出てきています。エネルギー負荷を考えると、長距離トラック輸送だけのロジスティックから、貨物列車輸送+自転車輸送といった選択肢も考えられるのではないのでしょうか。宅配サービスも選択の時代へとなり、「カーボンフリー宅配」という商品も考えられます。つまり、宅配輸送に関してのCO₂排出量オフセット分をオンするのは、低負荷型ロジスティックを選択できるように。「ゆっくりと、地球にやさしい、あたたかい宅配」と言えるのではないのでしょうか。自然食品、エコ商品などを扱う宅配から小規模展開が可能と考えています。



図6 デリバリークルーザー
※ Deliveraxi Japan 提供

(6)for 移動販売・屋台(delivery)

ペロタクシーもドイツで新型車体(City Cruiser II)が開発され、その車体を用いた「デリバリークルーザー」も開発されています(図6)。国内ではまだ利用事例は無いようですが、バンやワゴンを用いた屋台販売といった形態にもペロタクシーが活躍する場所があるかもしれません。ゆっくりとスローであたたかい対面販売形態(行商)の再生です。アイスクリームや焼き鳥、花火や焼き芋、わらび餅やワッフルなどいかがでしょうか。

4. ローテクからハイテク、そしてスローテクへ

昭和期の輪タクが「ローテク」だとすると、その後の乗用車によるタクシーは「ハイテク」の塊です。では、再び人力に戻りつつ、フォルムやデザインは新しく、駆動機構も最先端のサイクルテクノロジーを用いているベロタクシーは、「スローテク」な交通手段と呼べるのではないのでしょうか。環境の時代を考えると、江戸時代などといった過去の暮らし方にヒントを見つけることが多い。なんととっても先祖が実際に暮らしていたという実績があるからですね。とはいえ、ただ単に昔に戻るということではなく、当時の方法にヒントを得ながらも新たな意味を生み出していくようなわざ・仕組みを「スローテク」と呼んでみたい。天水桶が路地尊(墨田区)として再生し、着物が和ものとしてリメイクされ、町家が町家カフェとして再生するように。

ベロタクシーひこねのドライバーたちは、みな口をそろえてこう言っています。「とてもまちに出るのが楽しい」「いろいろな人びとと知り合えて話ができるのが楽しい」「ベロタクシーに乗って行くと反応が違う」と。急ぐ人は決して乗らない乗り物です。そこにはゆったりとしたスローな時間と、ネット時代の私たちが忘れかけている下町の縁側のようなあたたかい雰囲気があります。「どこからいらっしゃいましたか」「お元気でしたか」「良い天気ですね」。身体を使って汗をかきながら必死にこいでいる姿を見せながら、日々、人の「輪」がひろがっています。

註

- 1) ベロタクシーひこね <http://gokan-seikatsu.jp/velo/>
- 2) 齋藤毅(2008)：ベロタクシーの利用状況と乗客からみた改善点に関する研究－「ベロタクシーひこ

ね」を対象として－, 滋賀県立大学環境科学部環境社会計画専攻卒業論文

- 3) 素案であってPI 後、2008年3月に決定。
- 4) 滋賀県琵琶湖環境部環境政策課編(2008)：持続可能な滋賀社会ビジョン(素案), 滋賀県 p22
- 5) 滋賀県琵琶湖環境部環境政策課編(2008)：持続可能な滋賀社会ビジョン(素案), 滋賀県 p22
- 6) 古倉宗治(2006)：自転車利用促進のためのソフト施策：欧米先進諸国に学ぶ環境・健康の街づくり, ぎょうせい, pp37-38
- 7) 古倉宗治(2006)：自転車利用促進のためのソフト施策：欧米先進諸国に学ぶ環境・健康の街づくり, ぎょうせい pp44-45

参考文献

- 折野佳美(2006)：地域団体を対象とした自転車タクシーの導入と運営に関する研究～彦根市導入を目指して～, 滋賀県立大学環境科学部環境社会計画専攻卒業論文。
- 齋藤毅(2008)：ベロタクシーの利用状況と乗客からみた改善点に関する研究－「ベロタクシーひこね」を対象として－, 滋賀県立大学環境科学部環境社会計画専攻卒業論文。
- 「2050日本低炭素社会」プロジェクトチーム著(2007)：日英共同研究「低炭素社会の実現に向けた脱温暖化2050プロジェクト」環境省地球環境研究総合推進費戦略研究開発プロジェクト。
- 河口真理子(2007)：脱地球温暖化－低炭素社会構築にむけて, 経営戦略研究2007年春季号, VOL.12, 4-29.
- 太田勝敏(2007)：環境的に持続可能な交通(EST)の意義とその取組み－地球温暖化対策を中心に(特集 エコトランスポート－環境に寄与する交通技術), 環境管理 43(6), 535-542.