

北極圏における Human Ecology

赤 祖 父 俊 一

(アラスカ大学物理研究所所長)

Human Ecology は、人類と他の全生物との関係、全生物と環境との関係を研究する学問と定義されている (Roots, 1995)。この学問の基本的要素はすべて極めてダイナミックに変化しているので、すべてをダイナミックな観点に立って観察しなければならない。この論文では北極圏における Human Ecology の問題を考えることにする。

実は北極圏でのこの研究は地球環境の変動に対する人類を含めた全生物の反応を研究するために非常に適している。その理由は約 1 万 2 千年前に終わった最後の氷河期からの物理的な地球環境の変動を研究し、その変動に伴って人類を含めた全生物系はどのように対応してきたかを地球上で最も良く研究できるからである。

最後の氷河期から地球規模の大気温度は約 5℃ 上昇したことが推定されている。この上昇は現在の炭酸ガスの放出量から推定される 2100 年頃までの地球規模の気温上昇 (1.5℃~4.5℃) と同程度である。したがって最後の氷河期からの地球環境の変動は今後予想される種々の変動に多くのヒントを与えてくれるはずである。このようにして北極圏における Human Ecology の研究は地球規模の温暖化によって今後地球環境はどのように変動するかを予測し、人類として最も適切な処置を探索するのに役立つはずである。但しここで注意しなければならないのは、5℃ の気温上昇は 1 万年以上の期間に起きたが、炭酸ガスによる気温上昇はその 100 倍の速さで起きることになり、全生物系がこの速さにどのように反応するかは解っていない。ただ、1 万 2 千年の期間には数百年単位で、かなりの気候変動があったが生物系は敏感に反応していることが解っている。

ここで温暖化という現象を正確に定義しておく必要がある。我々は子供の頃、地球は水が液体で存在できる太陽からの距離に位置しているラッキーな惑星であると教わったことを覚えているが実際はそうではない。あらゆる物体は温度が絶対零度でない限り、輻射熱を赤外線として放射して冷えている。当然地球も赤外線を宇宙に放射して冷えているが、地球の位置で太陽から受けるエネルギーの量とこの赤外線放射量が釣り合う温度は零下 15℃ ほどである。すなわち、地球の位置では水は液体では存在できない距離にある。ところが地球の平均温度が 15℃ であるということは、炭酸ガス、水蒸気その他の空気中のガスが地球表面が放射する赤外線を吸収して、それを送り返してくれるためである。これは一般に温室効果と呼んでいる。温室のガラスは地球大気のように太陽エネルギー

ギーを通すが、温室内から放射される赤外線の一部を反射する（もっとも温室が温かい理由の一つは、風を防いでいることにもよる）。大気中の炭酸ガスは、地球が形成されるとき星間ガスから地球に取りこまれたガスである。

最近この説明が、月の南極のクレーター内に氷が存在しているということで説明された。大気のない月では水は液体で存在できない。すなわち温室効果は地球上の水を液体という状態で保ち、生命の発生と進化を助成してきたのである。一方、地球植物はこの炭酸ガスと水を使って太陽エネルギーを取りこむ光合成というすばらしい“技術”を開発した。このため炭酸ガスを構成する炭素が、その4個の腕を使って有機物の核となり、そこに太陽エネルギーを貯えた。人類はこの植物と植物を食糧とする動物を食べ、呼吸によって得た酸素を使って燃焼し、太陽エネルギーを取出し、副産物としてできた炭酸ガスを大気中に戻している。

更に人類は社会活動のため、この植物やその死骸である石炭や石油を燃料とすることによって植物を分解し、太陽エネルギーを取出し、副産物である炭酸ガスを大気中に戻している。この人類の活動、特に社会活動による炭酸ガス放出量が自然の温室効果を上回る程になってきた。一般に呼ばれる温室効果とはこの部分のことである。この温室効果による温暖化で北極圏は決定的に重要な役目を果たしている。それはまず北極圏はこの温暖化に正のフィードバックをする過程をもっており、温暖化を促進する傾向があるからである。その一例は温暖化によって雪が融け、地表が表れると、今まで雪のため反射されていた太陽エネルギーが地表で吸収され、地球全体の太陽エネルギー吸収量が増加し、したがって温暖化が促進される。

一方、北極圏を広く覆う永久凍土が温暖化で融けることによって、そこに含まれる多量のメタンガスが大気中に放出される。メタンガスは炭酸ガスに次いで重要な温暖化ガスであるので、これも正のフィードバックによって温暖化を促進し、永久凍土がますます融け、更にメタンガスが放出される。もっともそれはそれほど簡単でなく、温暖化によって永久凍土を覆う草木が成育しやすくなり、それがメンシュレーションの役を果たして永久凍土はかえって融けにくくなるという研究者もある。

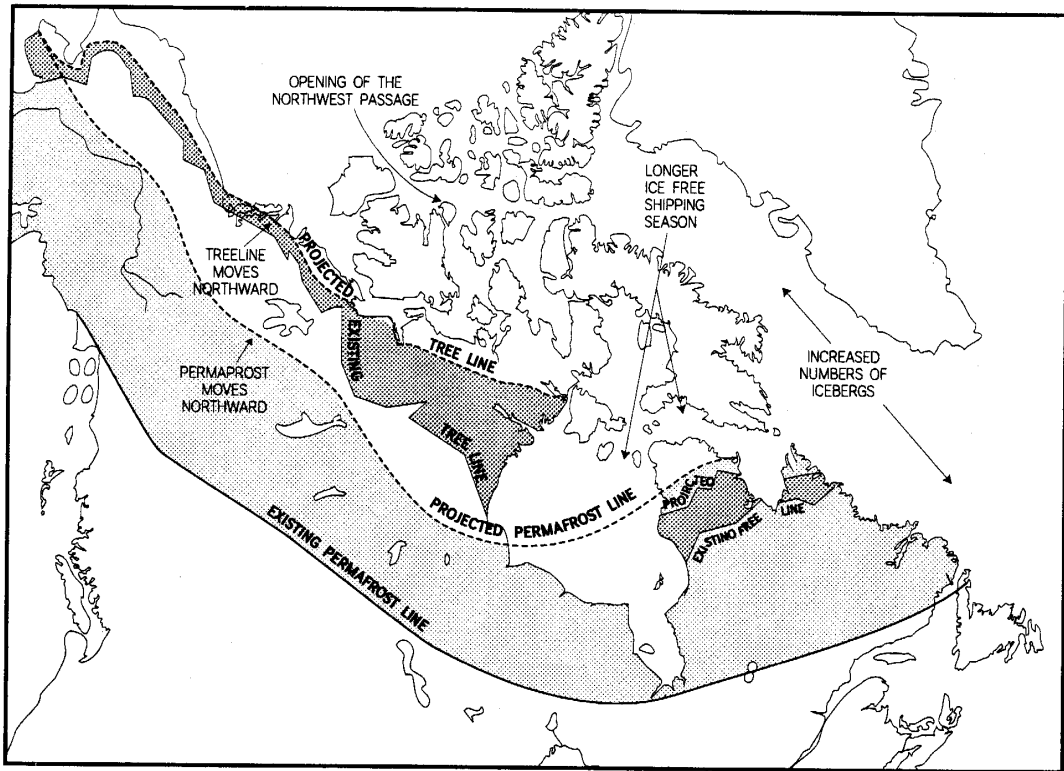
しかし、地球全体の平均として過去100年間における温度上昇が0.5℃であるが、北極圏ではわずか30年で、気温は4.5℃も上昇している。そして北極圏の永久凍土帯の南部（フェアバンクスの南）では、永久凍土は急速に融けつつある。

ここで北極圏を重要視するもう一つの理由をはっきりさせておく必要がある。当然北極圏の大部分をおおった氷河の後退は北極圏で起きた。北極圏では植物系は北から南に北極海の海岸からツンドラ地帯までのいわゆる“北極の砂漠”地帯、ツンドラ地帯、カン木地帯、白樺森地帯、黒スギ（スプルース）地帯（北極圏の大森林地帯）と並んでいる。その全地帯群は氷河期の終わりから北にシフトしてきたが、その間温暖化の期間には北にシフトし、寒冷化の期間には南にシフトした。北極圏の動物系はこの変動に対応してシフトしてきた。ツンドラの草原地帯にはトナカイが生息し、そ

れに沿って大移動をしている。その南のカン木（ヤブ）地帯が進入してくると、それを追って大型の動物（例えばムース）なども北進した。

一方、今までのカン木地帯は白樺やアスペンの森になり、氷河期が終わった頃、五大湖付近にしかなかった黒杉は急速に氷河の消えた地帯に沿って北上し、現在の北極圏の大森林を形成するに到った。黒杉は北欧でも広がった。

当然これらの変動を追って人類も南北にシフトしたことが考えられる。特に最近まで文明の恩恵をあまり受けずにきた北極圏の原住民は、その影響を大きく受けたことが推測される。この種の研究は paleogeography, paleobotany, paleoecology などの分野に属し、アラスカではシベリヤ極東部とアラスカを結ぶ陸橋を含めて Beringia とよばれる地域で極めて詳しい研究が行われてきた (Hopkins et al. 1982)。



これまで関係したいくつかのトピックスをここで述べておくのも無駄ではないであろう。氷河の後退にともなって人類が北進したことは容易に想像できる。現在の問題の一つはこの北進によってマストドン、マンモス、バイソン、野生の馬、山猫などが絶滅に追いやられたとする説である。このような大型動物を狩猟により得るためにはグループ活動が必要で、そのためのコミュニケーションを発達させねばならず、そのため人類は猿より脳を発達させることができたとする説もある (Diamond, 1992)。我々は学生の頃マストドンやマンモスは氷河期以来の環境変化に追従できず絶滅したと教わったようにおぼえているが、これは人類の勝手な解釈であったのかもしれない。この一つの問題を取上げても、北極圏は複雑なしかもチャレンジングな問題を提供する。

実際北極圏にはマスクオックスと呼ばれる動物が生息していたが、この動物は人類による狩猟によって絶滅に瀕したことが記録により分かっている。アラスカ大学は残り少ないマスクオックスを集め、牧場で飼育することによりその数を増やしている。

ついでではあるが、オゾンホールはある意味でこの種の近代化した問題（近代版）といえる。すでに述べたように、海中の原始生物は太陽エネルギーを捕獲するために光合成というすばらしい“技術”を開発し、原始地球大気中の炭酸ガスと水を使って有機物を作り、そのエネルギーを蓄えた。その副産物が酸素であり、その酸素が成層圏でオゾン分子を形成し、太陽からの有害な紫外線を吸収できるようになり、初めて陸上生物にとって安全になったのである。人類はその有機物（石炭）を燃やすことによって炭酸ガスを大気中に放出し、またフロンガスを使ってオゾン層に穴を空けてしまった。それにより人類を含む全生物に影響を与えようとしている。しかもオゾン・ホールはフロンガスを最も多く放出したアメリカや日本の上空にできず、地球変動に最も敏感な両極地の成層圏にできた。

もう一つ大切な、しかし日本では想像できない現象がある。北極圏の大陸部、シベリヤ、アラスカ、カナダでは6月と7月には気温が30℃を越えることは稀ではない。したがって落雷が発生しやすく、落雷も多い。アラスカだけでも毎夏50~70ヶ所で落雷による山火事が発生し、多い年には日本の面積の5分の1ほどの面積の黒杉の森林が焼ける。原則として山火事は民家に近くない場合は放置される。それは北極圏の植物等の輪廻に関係しているからである。

黒杉の森林が老化すると動物の生息に役立たなくなってくる。落雷で山火事が起き老化した黒杉の森林が燃え、草原が出現することによって草原で生活する動物が現れ、それを追う動物も集まる。しかし、約10~20年でその草原は柳などの灌木の地帯となり、そこにはムースのような大型動物が集まる。その灌木地帯はやがてアスペンや白樺の林になり、最終的には黒杉がその中に進入してくる。その黒杉の森林が老化して落雷が山火事を起こす。これは200~500年の周期で繰り返されている。ここにも植物系の変化、それに対応する動物系の変化を見ることができる。

もう一つ興味のある問題は最終の氷河期アラスカはブルックス山脈と海岸線に沿ったチューガッチ山脈以外は氷河には覆われていなかった。したがってアラスカの中央部は大草原であった。氷河期には海面が低かったため極東シベリヤとアラスカの間へのベーリング海峡は陸橋になっており、この広大な Beringia と呼ばれる広大な地域には約3万年ほど前から人類が住んでいたようであるが、陸橋ができた後シベリヤからアラスカに向かって人類の移動があり、彼らはハドソン湾、ラバドア、グリーンランドへと急速に北米大陸に向かって広がって行った。この人類の移動についてはまだ研究が続けられている。

この人類がマストドンやマンモスのような大型動物の絶滅に寄与したらしいことはすでに述べたが、彼等は鯨その他の海の動物を得る技術も習得していった。彼等は気候変動による氷の分布の変化、海水温の変化に対応することも習得していった。したがって彼等は最後の氷河期後に起きたい

わゆる“小氷河期”にも生き残ることができた。彼等は伝統に固執することは彼等自身の絶滅につながることを知っていた。ヨーロッパからグリーンランドに渡った人類は小氷河期には生き残れなかった。

このような北極圏の話題は日本には直接関係のないエキゾチックなものとする者が多いと思うが、実はこれには日本の将来にとって重要な問題がいくつかある。現在世界の食糧倉庫といわれている北米大陸の豊作地帯は北極圏の黒杉地帯の南に位置し、したがって地球規模の温暖化、寒冷化はこの食糧倉庫に大きな影響を与えることを忘れてはならない。地球温暖化によってこの食糧倉庫にどんな変化が起きうるであろうかということは、米国やカナダに多くの食糧を依存する、しかも食糧を自給する能力を失った日本にとっても他人事ではないのである。現在までに分かっているところでは、最初多雨地帯であった北米西部は雨量が次第に減少し、数千年前より砂漠地帯が形成されてきた。

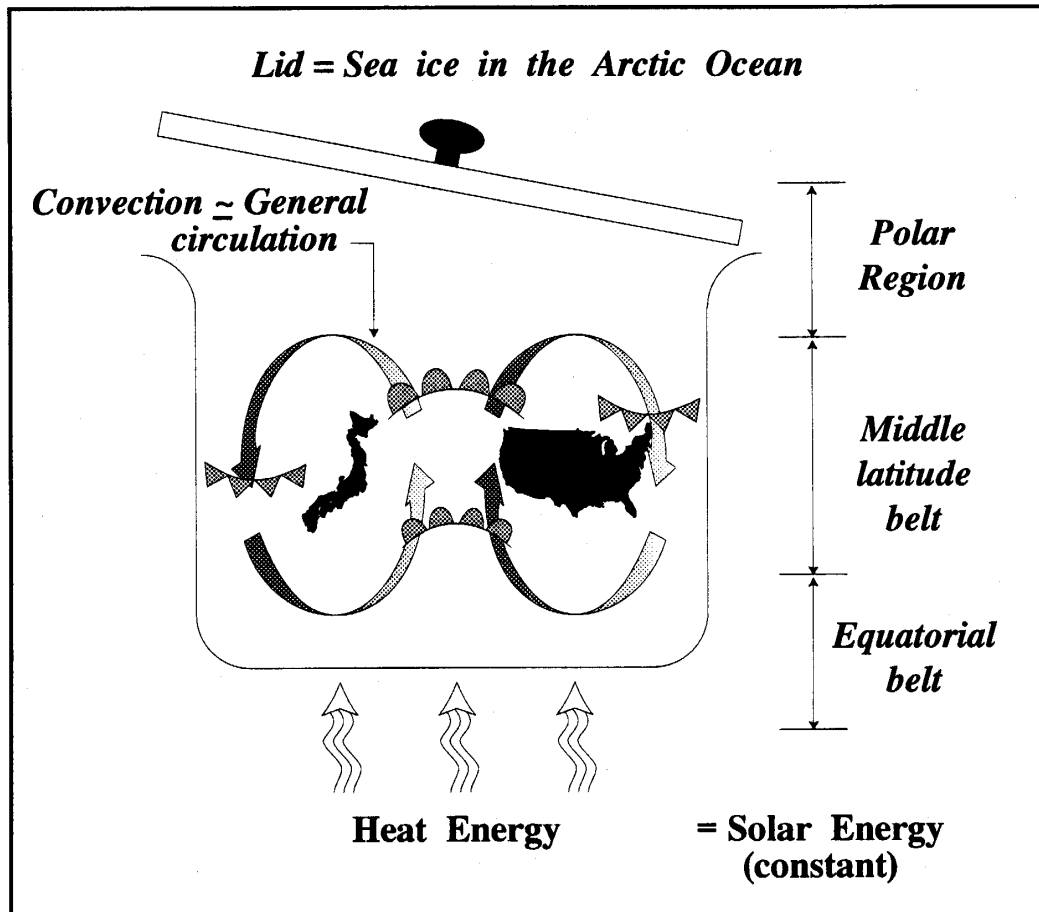
北極圏の重要性を最も簡単に説明するには、鍋で水を暖める例がよい。鍋の底は赤道帯に相当し、水を暖める太陽エネルギーは太陽の輻射熱である。これは1辺3センチメートルの面積に1分間で2.0カロリーの量で、太陽定数と呼ばれるほど一定である。太陽の活動は11年の周期で変化するが、一周期中のこのエネルギーの変化は0.1%程度である。

鍋の底で暖められた水は上昇して水面に達し、そこで冷えて下降し、再び底で暖められて上昇する。それは対流と呼ばれる現象で、流体（流体と気体）はその温度を常に一様に保とうとするためにおきる。では、赤道帯では太陽熱で暖められた空気はどんな運動をするのだろうか。鍋の例をとると北極圏は水面付近に相当する。北緯70度以上の北極圏の気体は太陽エネルギーがあまり届かないため（真冬は零）、赤外線を放射して冷える。もし、大気が動かないと赤道帯の空気の温度は上昇する一方であり、北極圏の空気は冷える一方である。このようにして最寒の極気団が北極圏の上空を覆う。

流体である地球大気は対流でのこの温度差を少なくしようとするが、鍋の例では説明できないこの二つの問題がある。第一は大気の厚さは地球の半径に比較して数百分の1で極めて薄い。地球をリンゴに例えればリンゴの皮ほどの厚さである。そこで、地球規模の対流は赤道帯と北極圏の間でおきる。赤道で暖められた空気は上昇した後、北に向かって移動する。高緯度に到達し、そこで冷えた空気は赤道に向かって移動する。ところが地球は自転しているため、赤道の空気は地表と一緒に毎秒400メートルの速さで東に動いており、またその速さは高緯度ほど小さいので北に向かう空気はその早さを保とうとする。そのため、北に向かって移動している大気は東向きの成分を得てくる。そして北緯50度ほどに達するとこの東向き成分は毎秒100メートルほどになる。

これがよく知られているジェットストリームと呼ばれる強い西風の原因である。したがってせっかく北に向かって対流している大気は鍋の水のような上下の熱交換ができにくくなる。地球大気はその困難を東向きのジェットストリームを南北に大きく波をうたせて横切る。北にのびる波は熱帯

で熱せられた空気を北に運ぶ。これが毎日天気図でみる温暖前線である。南にのびる波は北極圏で冷えた空気を南に運ぶ。それが寒冷前線である。それにより毎日の天気は赤道帯と北極圏の間の空気の熱交換現象の現れであることが解り、更に毎日の天気は赤道帯だけでなく北極圏に関係していることが解る。



もう一度鍋の例に戻ると、水の暖まり方は鍋の蓋によることは子供たちも知っているが、それに相当するのが北極海をおおう海氷である。この海氷は零度に近い北極海の海水と零下50℃の極気団の間にあるインシュレーターである。ところが、この鍋の蓋はこわれやすく、嵐の極には割れ、そのため海水と極気団が直接接触する。海水からは烈しい水蒸気が上り、海の熱エネルギーが零下50℃の大気の性質を変える。この変化は先に述べたように中緯度帯の毎日の天気にも関係してくる。

したがって、日本にとって全く無関係と思われるような北極海の海氷も日本に関係があるのである。別の表現を使えば、北極圏のこのような現象を解明し、モニターできなければ正確な気象、気候の予報はできないということである。

他の先進国に比較して気候が温和な国である日本人達が、北極圏は日本にとって無関係な地球の一部と考えるのは無理はない。日本は何ととってもモンスーンと稲作の国だからである。しかし、本当は北極圏は日本の気象、気候、経済、社会、国際問題にも直接、間接に関係した重要な地域で

ある。北極圏の重要性を示す良い例は冬の“シベリヤからの寒風”であろう。ところがこの“シベリヤからの寒風”は極めて局地的な表現であり、このような表現が北極圏の重要性を隠してしまっている。冬期太陽エネルギーを受けない極地の大気は輻射で冷え、極気団という -50°C に近い最寒の気団を形成する。この気団を北極上空から見下ろすとアメーバーの様に常に変形しており、その“足”が日本上空に延びてくると“シベリヤからの寒風”になるのである。すなわち、極気団全体の理解なしに“シベリヤからの寒風”は理解できないことに注意しよう。このような局地的表現を使っている限り、本質を見逃してしまう(これは専門家は十分解っているが一般市民の理解はない)。すなわち、“最寒”とは北極圏の影響をまともに受けている状態であり、日本の経済活動に大きな影響をもっている。同類の局地的表現は梅雨期の“オホーツク海高気圧”であろう。冷夏は社会、国際問題にさえなったことはまだ記憶に新しいことである。

実際、北極圏はアフリカ大陸に匹敵する面積をもっている。したがって、この広大な地域を無視して“グローバルな観点に立って…”と言うことはできない。勿論面積だけではない。すでに述べたように北極圏では全物理学と生物学が地球変動に極めて敏感に反応するので、地球変動のバロメーターにもなる。更に世界の真水の80%が南北両極地の氷の形で保たれていることを忘れることはできない。温暖化により、この氷が融け出し、海面の上昇は21世紀中に50センチメートルから1メートルに達することが予測されている。これも南太平洋の珊瑚礁に住む人達の問題としてかたずけることはできない。日本のように海岸に人工が集中している国にとっては経済的にも社会的にも極めて深刻な問題になる。

この小論文で理解してきたのは Human Ecology の問題は単に物理学、科学、生物学の問題でもなく、地球物理学だけの問題でもない。自然科学社会科学、人文科学を含めて総合科学の問題である。これら全科学者が協力して環境、エネルギー、人工、食料という4個の歯車を動かすことによって宇宙船「地球号」を運転しなければならない。

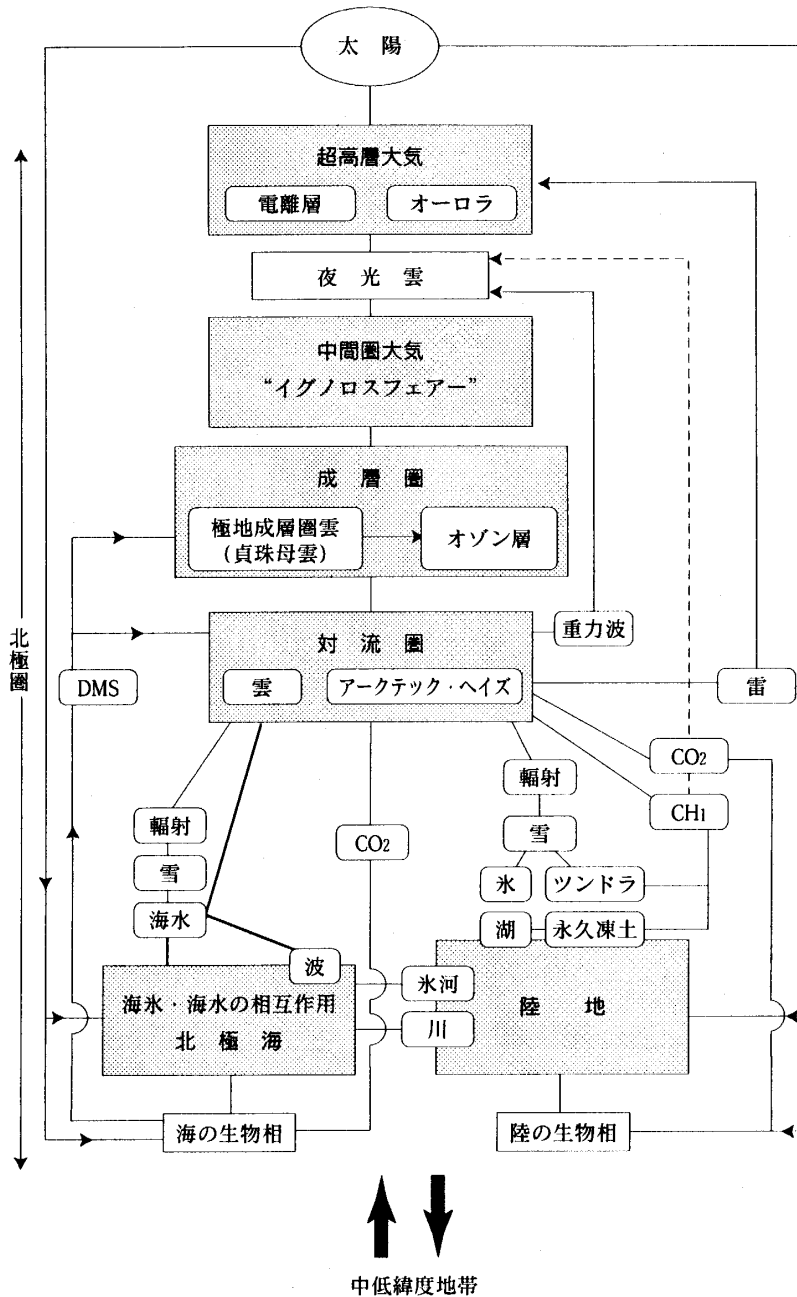
百年ほど前の過去においては、個々の歯車を独立に考えればよかった。例えばエネルギー問題はエネルギーだけを考えればよかった。環境問題を無視して石炭を掘り、温暖化を心配せずに燃やすことができた。過去の社会活動は環境に大きな影響を及ぼすほどではなかった(もっとも温暖化については警告を発していた学者はあったが)。

北極圏や南極の氷に含まれている過去の空気の解放から、紀元1750年頃まで大気中の炭酸ガスは殆ど一定であったが、その頃を界にして増加を始めている。それはまさしく産業革命の時代と一致し、石炭を燃やすことによって水蒸気力を動力にしたためである。

しかし、当時の石炭使用程度では温暖化を心配する必要はなかった。人類にとって森林を切り開き、農作地を作ることは文明化への第一歩であったし、今でもそうである。アメリカ東部の大森林はそのようにして消えていった。しかし、現在アマゾンの大森林の開拓(アメリカ東部の面積に比較して小さいにもかかわらず)が国際的に批判を受けている。昔であればブラジルは自国の近代化

を促進していると受け取られたはずであるが、アメリカ及び他の先進国は自分の過去を忘れて批判している。

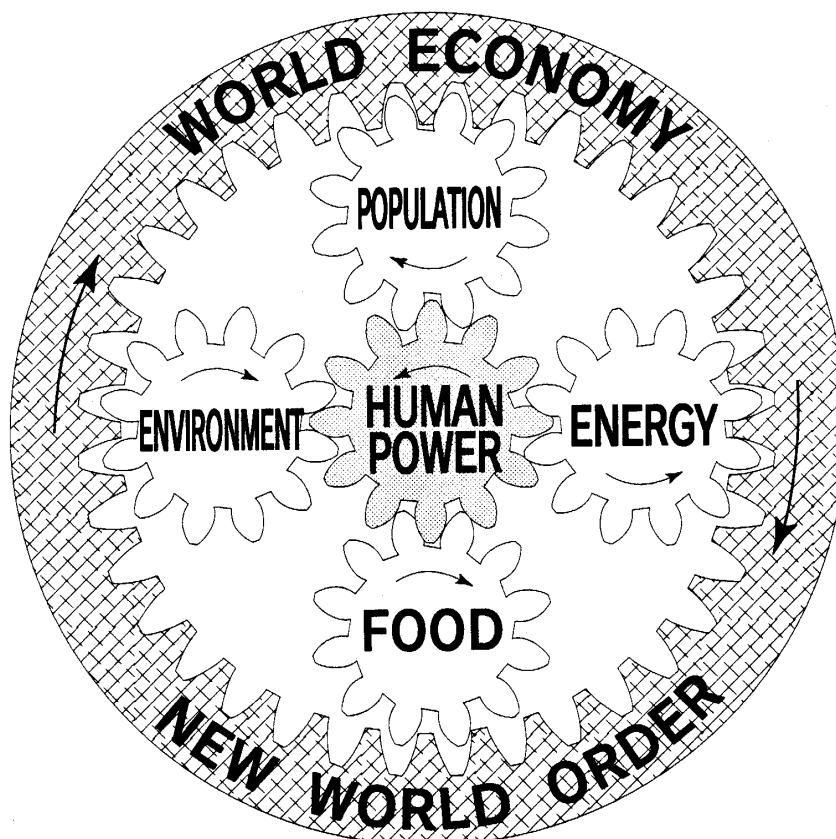
現在30年で2倍になる世界人口を支えるため、森林を開拓し食糧増産、エネルギー源の増産が可能であろうか。いずれにせよ、これからは4つの歯車の1つの歯車が欠けてもそれが原因で（すなわち、欠けた歯車が四つの歯車の中にひっかかり）全システムが止まってしまう事態に到達してしまったようである。



北極圏と中低緯度地帯との相関図。北極圏特有の現象は相互に関係し、システムを形成して中低緯度地帯と接している。

現在この種の問題を取り扱うにあたってはバンド・エイド的な解決が使われている。例えば、自動車の排気ガスによる大気汚染を少なくするため電気自動車の開発が進められているが、その電力を火力発電に頼っているはこの問題を他の問題に移し変えただけで、火力発電による大気汚染、温暖化の問題が加わるだけである。電力を原子力に換えれば放射性物質の後始末の問題が始まる。

したがって、21世紀の人類の最大の宿題はこの4つの歯車をどのように無事に連動させていくかということになるのではないか。



人類はもともと人類の問題を解決するため、自然科学、社会科学、人文科学という基礎学問に分けて研究を続けてきた。最初から人類の大問題を解くことはできないから、このように3つの基礎科学に分けて研究することは人類の叡知による。

ところが、ある時点からこのことを忘れてしまい、3つの学問がいがみ合うようになり、この3つの学問を統合することによってはじめて人類の大問題に対することはできるということが忘れられたのではないか。

これは自然科学が更に分化され、分化された分野同士でいがみ合っているものもある。

この統合を分かり易く図式化したのが4つの歯車の例である。

東北アジア研究センターは社会、人文科学に自然科学を加えることによって、総合研究センターとしてこの大切な使命を果たす最初の例となることを希望し、この小論文を終わりたい。

参考文献

- Roots E. Fred, in *Human Ecology and Climate Change* by D. L. Peterson and Daryll R. Johnson, (ed).
Taylor & Francis, 1995
- Hopkins, D. M., Matthews, John V. Jr., Schwega, C. E. and Young, S. B., *Paleoecology of Beringia*,
Academie Press, New York, 1982
- Diamond, J. *The Third Chimpanzie*, Harpen Perennial, New York, 1992