

地球温暖化とは  
気候変動についての第二回学習会資料  
嵐山町 大気と水と大地の会  
レポーター： 弥永健一  
(2008/6/22)

## はじめに

「気候システムの温暖化には疑う余地がない。このことは、大気や海洋の世界平均温度の上昇、雪氷の広範囲にわたる融解、世界平均海面水位の上昇が観測されていることから今や明白である。」これは、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第4次評価報告書（統合報告書の政策決定者向け要約 2007年11月30日）の初めの部分です。IPCCは1988年に国連環境計画と世界気象機関によって設置された国際機関で、第4次報告書の審議には5日間かかり、責任執筆者50人の他に各国代表310人が出席しました。

今回は、主にこの報告書要約と、気候変動についての基礎的な事柄について説明している本「地球を殺そうとしている私たち」（ティム・フラナリー著 椿正晴訳、ヴィレッジブックス）に基づいていま何が起ろうとしているか、考えたいと思います。

## 45億年の地球の歴史

45億年前に地球が誕生してから、生命が生まれるまでに7億年かかりました。太古の海のなかで最初の魚類が生まれたのは約4億4000万年前。そして、初期両生類が生まれた3億6000万年前から2億8600万年前までの長い間に地表を覆った植物の化石が無煙炭です。恐竜が現われたのは2億4800万年前ですから、それよりもずっと前の時代の植物が約1億年かけて太陽エネルギーを貯め、それが石炭という形で使われているのです。石油は植物プランクトンや藻などの遺骸が海底に堆積し、数百万年から数千万年にわたって100度から135度の地熱で暖められて出来たものです。

最初の氷河期は8億年前から6億年前の間。それ以後何回か氷河期が訪れています。大陸移動や大きな温暖化、寒冷化も起こり、それに伴って生物の大量絶滅も繰返されてきました。CO<sub>2</sub>など温室効果ガスが重大な役割を果たした結果起ったと見られる生物絶滅もありました。例えば恐竜たちが現われる前、今から2億5100万年前には、生物種の95%を滅ぼした大変動がありましたが、その引き金となったのは、シベリアでの火山の大噴火だったようです。それに伴って排出された温室効果ガスによって温度が6度も上昇し、その上、噴火ガスの影響で降った酸性雨により大規模な森林破壊が起り、さらに多くのCO<sub>2</sub>の排出、温度上昇がありました。またそれによって地中や海底に眠っていたメタンハイドレートという、白いゼリー状の物質が融け、CO<sub>2</sub>に次いで大きな温室効果を持つメタンガス

が大量に大気中に放出され、絶滅につながったと見られています。6500 万年前にも大量絶滅がありましたが、その直後の地層から発掘された植物の化石を調べると、大気中の CO<sub>2</sub> 濃度がとても高かったことがわかります。おそらく、豊富な石灰質を含む岩盤に巨大隕石が落下した結果、大量の CO<sub>2</sub> が発生したのだらうと考えられています。5500 万年前にも深海地層中にあるメタンハイドレートが爆発的に膨張し、その結果発生した大量の CO<sub>2</sub> が深刻な温暖化を引き起して大量絶滅を招きました。おそらく海底から噴き上がってきた溶岩の影響で一気に膨張し、海水から酸素を奪って CO<sub>2</sub> になり、大気中に現われ、その結果地表温度が突然 5~10 度も上昇したと考えられています。海中では深刻な酸欠状態が起り、プランクトン、深海魚、サメ、イカに到るまでのものたちが死にました。陸上でも、深刻な気候変動により、大量絶滅が起りました。CO<sub>2</sub> は、その後生き延びて海の表層に漂っていたプランクトンによって徐々に吸収され、2 万年かかってもとの状態に戻ったと言います。

それから暫く後、3370 万年前に多様な脊椎動物たちが出現しました。今の人類が現われたのは、180 万年前です。

## ミランコビッチ・サイクル

ミランコビッチは、1879 年に今のセルビアで生まれた科学者ですが、度々繰返された氷河期の周期と、地球の公転、自転に関わる周期との間に密接な関係があることを突き止めた人です。地球はコマのように首を振りながら自転して、太陽の回りを公転しますが、公転の軌道は、円に近い形と細長い楕円形の間を変動し、それに伴って太陽から届くエネルギー量も変わります。また、自転の軸の方向や、その軸と地軸との角度も長い周期で変わり、それによって気候変動が起ります。彼が計算した周期はミランコビッチ・サイクルと呼ばれ、その計算によると、今の地球は次の氷河期に向いつつあります。温暖化ではなく、寒冷化が進むはずなのです。ところが、IPCC 報告書にあるように、20 世紀後半の北半球の平均気温は、少なくとも 1300 年前までさかのぼって見て、その中で最も高温だった可能性が高いのです。1995 年から 2006 年の 12 年の内の 11 年については、世界の地上気温は、観測記録が残っている 1850 年以降最も高温だった 12 年の内に入ります。これは、ミランコビッチ・サイクルの計算結果と食い違い、通常 of 自然のサイクルだけでは、説明が付きません。

ミランコビッチ・サイクル以外にも気温変化に影響を及ぼす自然現象として、太陽の黒点活動もあります。これも周期的に変わり、黒点が多いときには気温が上がる傾向があります。地球上の場所によっては、その影響が強く表れることもあります。地球全体の気候変動を引き起す程のことは、過去 6000 年間については無かったようです。IPCC 報告書では、気候変動について、人間活動による影響を含む場合と、自然現象によるものだけをカウントした場合の両方について計算し、その結果を実測値と比べていますが、それを見ても今進んでいる現象が人間活動に大きくよっていることは否定のしようもありません。

## CO<sub>2</sub>, エアロゾル

CO<sub>2</sub> やメタン以外にも温室効果ガスはいくつもあります。温室のガラスのように、太陽からの光は通しても、それが地表を暖めた結果発生する赤外線は封じ込める性質を持つ気体です。CO<sub>2</sub> は、太古から生物の活動の結果排出され、また、植物やプランクトンなどによって吸収されて来ました。植物は光合成によって CO<sub>2</sub> を自分の身体に変えます。木を切って燃やせば、それまでに貯め込まれた CO<sub>2</sub> が排出されますが、その後にもまた新たに若木が育つようなやりかたを続ければ、バランスが取れるわけです。ところが、大量に森林伐採をして、その後も森が回復できないようなことをすれば、バランスは崩れます。それどころか、裸になった土からは、大量の温室効果ガスが排出されます。CO<sub>2</sub> は、植物だけでなく、土壌や岩石、水や微生物などを含む生態系のなかに貯め込まれています。炭素に換算して、約 1 兆トンが生物の体内に蓄積され、岩石や土壌の中にはそれを遙かに上回る量の炭素が貯蔵されています。また、海の中にとけ込んでいる CO<sub>2</sub> は大気中のものの 50 倍になるとされています。

地球の気候変動がミランコビッチ・サイクルと食い違ってきたのは、今から約 8000 年前からのことのようにです。人類による組織的な農耕、都市文化が始まった頃です。土を耕したり、都市を造ることによって、それまでは自然のサイクルに従っていた気候は、次第に温暖化傾向を強め、大気中の温室効果ガスの濃度も徐々に高まっていったのです。この傾向は、西暦 1750 年、産業革命が起ってから、急速に加速されます。太古の数億年、植物の身体に貯め込まれた CO<sub>2</sub> が石炭や石油、天然ガスを燃やすのに伴って大量に排出されたからです。それでも、西暦 1000 年から 1900 年までの平均地表温度は、ほぼ 13.7 度だったものが、1900 年頃から上がり初め、特に 20 世紀後期以降の温度上昇は急ピッチです。石炭火力発電は、当然ながら、膨大な量の CO<sub>2</sub> 発生源です。鉄鉱石や、セメントの原料である石灰にも炭素が含まれ、それらを熱して加工する過程で大量の CO<sub>2</sub> が排出されます。窒素肥料を作るのにも使われるアンモニア生産業も、大手の CO<sub>2</sub> 排出部門の一つです。

人間活動に伴う気候変動には、温暖化とは逆のものもあります。火力発電や自動車、航空機の排気ガスなどは、いずれも有害物質を含むものですが、これに含まれる煤煙は大気中に漂い太陽光線を遮って冷却化をもたらします。これら以外にも、森林火災、火山の噴火、砂漠を渡る風に乗って飛ぶ砂塵なども同様で、これらをエアロゾルと呼びます。

### 人間活動に伴う温室効果ガス排出

産業革命以降、大気中の温室効果ガスの濃度は大きく増加し続け、1750 年以前の何千年にもわたる期間の値をはるかに超えていることが、IPCC 報告書に書かれています。報告書によれば、2005 年における CO<sub>2</sub> とメタンの濃度は過去 65 万年間の自然変動の範囲をはる

かに上回っています。CO<sub>2</sub>濃度の増加は第一に化石燃料利用によりますが、土地利用に伴って土や岩、水などを含む生態系に蓄えられたCO<sub>2</sub>が排出されたことによるものも大きい部分を占めます。地球規模の、人間活動による温室効果ガス排出量（CO<sub>2</sub>換算）について、2004年の内訳が示されていますが、それによると、化石燃料由来のものが56.8%でトップ。続いて森林の大規模伐採や人為的火災それに生ごみや植物の腐敗からくるものが17.3%となっています。同じ年の部門別排出量内訳は、発電などエネルギー供給部門がトップで25.9%、産業部門が第2で19.4%、森林減少など林業関係部門が第3で17.4%、農業部門が第4で13.5%、その次が輸送部門で13.1%、それに民生および商業施設部門の7.9%が続きます。軍事部門も大きいはずですが、ここには示されていません。

20世紀初めには世界人口は10億人余りでしたが、20世紀末には60億人になり、21世紀半ばには約90億人になると予想されています。化石燃料消費量は20世紀中に16倍になり、ここ数十年で、目立って増えています。1987年に、人類は地球の環境収容能力を超えたと言われています。このままの状態が続けば、22世紀初頭までには生物種の60%が死滅し、破局的な状況になるとも言われます。いますぐに適切な行動に移れば、生物種の5分の4は絶滅を免れる。そのためには、大気中のCO<sub>2</sub>濃度を、2050年までに、1900年を規準として70%以上減らすことが必要になると、フラナリーの本に書かれています。

## 何が起ろうとしているか

IPCC報告書では、これからの予想をたてるため、幾つかのシナリオを立て、エアロゾルについても考えに入れて計算しています。それによれば、2100年までの地上気温は、2000年と比べて、ほぼ2度から4度くらい上昇し、海面水位の上昇は、最小値の0.18mから最大値0.59mの間の値になるだろうと示されています。気温上昇については、かなり詳しい予測値が出されていますが、ここでは、おおざっぱなまとめをしました。ただ、報告書では、火力発電などに伴って排出されるCO<sub>2</sub>を回収して地中に注入し貯留する方法や、原子力発電など、温暖化対策として、重大なリスクを伴う方法をも採用して評価しているので、この予想はかなり甘いものかも知れません。また、地上気温が2度以上あがると危険ゾーンに入るとも言われているので、これを回避するためには相当の努力が必要になりそうです。

気温上昇は北半球の陸域で最大になり、南極海や北大西洋の一部地域では最小になる。永久凍土地域でこれまで以上に融解が進み、北極海の海氷は夏の終わりには消滅する可能性が高い。極端な熱波や、大雨の頻度が引き続き増える。台風やハリケーンの強度が増加する。降水量は緯度の高い地域では増加傾向にあり、ほとんどの亜熱帯陸域では減少する可能性が高い。などなど、これまでにも見られてきた状況が更に進行しそうです。永久凍土地域の地下にはメタンハイドレートが埋まっています。これが大規模な溶融を起こしたら大変です。北極海の海氷が融けるとこれまで白一面で、太陽光線を跳ね返していた場所で、これまで以上に温暖化が進むこととなります。海氷が融けてもそれによって海水面が

上昇することはありませんが、海水の温度の上昇に伴う膨張によっても水面上昇が起っています。氷河が融ければ海面上昇が起ります。グリーンランドを覆う氷がすっかり融ければ海水面が約 7m 上昇するが、それはかなり遠い将来のことになりそうだと報告されています。

気温上昇が 2 度以上になると、生物種の最大 30% の絶滅リスクが増加し、4 度を超えると地球規模での重大な絶滅が起ると予想されます。海水温上昇に伴って、サンゴと共生している藻が追い出され、サンゴは白くなって死んでしまいます。この、サンゴ礁の白化現象は 1998 年以降世界各地で顕著になり、このまま行けば 2030 年までには世界規模で壊滅的被害が起ると予想されています。海洋生物の 4 分の 1 はサンゴ礁に頼って生きているので、被害はサンゴだけにとどまりません。

海水に溶け込む CO<sub>2</sub> は、河川によって運ばれるアルカリ性のイオンと結びついて沈殿しますが、CO<sub>2</sub> 濃度が増えるのに従い海水の酸性化が進んでいます。IPCC 報告書によれば、産業革命以来海洋の pH は平均で 0.1 減少し、21 世紀末には更に 0.14~0.35 減少すると予想されます。それに伴い、カキ、カニ、エビなど殻を持つ海の生き物に悪影響があります。海洋の酸性度が進むと殻が溶け始めることになる可能性があるのです。これは、先ず緯度の高い海域から始まり、次第に低緯度海域にも影響が及ぶと予想されています。

シベリアの永久凍土地域は数億羽の渡り鳥にとって繁殖地ですが、これが融解すれば彼らの営巣地も失われます。

自然界に生きるものたちは、それぞれが独自の役割を持ち、互いに支え合っています。生物種が絶滅して行くことは、地球という宇宙船のボルトや部品が次々に失われて行くことだと言えます。

## 各地域における温暖化の影響

IPCC 報告書に、世界各地域における温暖化の影響予測がまとめてあります。その中からいくつかピックアップしてみます。

アフリカ：2020 年までに、7500 万から 2 億 5000 万人が水不足に襲われる。また、雨不足で農業生産量が 50% 減少する地域も出る。21 世紀末期には、沿岸地域の低地に住む多数の人びとが海面水位の上昇によって悪影響を受ける。砂漠化も進行する。

アジア：2050 年までに、中央・南・東・東南アジアで、特に大規模河川流域では、飲み水などに使える淡水が不足するようになる。これら地域の沿岸域、特に大規模デルタ地帯では、河川からの浸水リスクが高くなり、下痢などによる死亡率も上昇する。急速な工業化、経済発展に伴って進む環境悪化は温暖化との複合的な影響をもたらす。

オーストラリア、ニュージーランド：2030年までに幾つかの地域で水不足などの問題が大きくなる。また、干ばつと山火事の増加により農林業の生産性が減少する地域がでる。2050年までに、沿岸開発や人口増加が進んでいる地域では、海面水位上昇、暴風雨被害の悪化、浸水被害の深刻化によるリスクが増加する。

ヨーロッパ：暴風雨の程度の悪化、海面水位上昇による洪水、浸食による影響が進む。山岳地帯では氷河の後退、広範囲な生物種の喪失が起る。南ヨーロッパでは、高温、干ばつ、作物の生産性減少などが起る。熱波による健康被害、山火事のリスクが増加する。

南米：今世紀末までに、気温上昇とそれに伴う土中の水分の減少により、アマゾンの熱帯林がサバンナに置き換わる。特に熱帯地域では、種の絶滅による重大な生物多様性の喪失が起る。幾つかの作物や家畜の生産性減少、飢餓リスクの増加が起る。

北米：西部山岳地帯では雪の減少、夏の水不足が起る。今世紀初頭には、天水に頼る農業生産量が上昇する地域もあるが、水不足による問題に悩む地域もでる。都市における熱波被害が悪化する。

小島嶼国：海面水位上昇により、浸水、高潮被害の悪化が起る。砂浜の浸食、サンゴの白化による地域資源への影響。カリブ海や太平洋では、雨の少ない時期における水不足の深刻化が進む。

フラナリーの本には、オーストラリアでの塩害について書かれています。気候変動に伴って、西部の小麦ベルトでは、降雨量が減少し、小麦が育つ冬には特に雨が少なくなっている一方、畑が裸になっている夏には逆に降雨量が増えています。そのために、雨が地中にしみ込んで塩分が溶け出しています。かつては、草や低い灌木に覆われ、雨はそれら植物に消費されて地下の塩分にまで及ぶことは無かったものが、今では溶け出した塩分の影響で河川水が飲み水に使えなくなりました。道路、飛行場、鉄道など到るところに塩が吹き出しています。降雨量減少により水源ダムの水位も低下し、地下水くみ上げも一時のぎに過ぎません。

オーストラリアの耕作面積は日本とは比較にならないほど巨大です。被害ができれば、その規模も大変なものになります。これまでは想像も付かなかった災害や社会・経済的変動が次々に起る時代です。スケールメリットではなく、スケールリスクについて考え、小回りがきくシステムを重視することが、これまでも増して必要だと思います。欧米では小規模農業が再評価され初めています。ところが、日本政府は農業経営の大規模化にばかり目を向けているようです。嘆かわしいことです。

海面水位上昇に伴い、バングラデシュでは沿岸から 100 キロも遠い場所でも河川に海水が入り込み、水田の塩分があがって使えなくなって居るところもあります。海拔が平均 2 メートルしかない環礁国、キリバス、モルジブ、マーシャル諸島、トケラウ諸島、ツバルに住む 43 万人の人びとは、今世紀中にはすみかを失うことになりそうです。

## 温暖化対策

温暖化対策としてあげられているものについて、幾つか簡単にふれておきます。

原子力発電：原子力発電は CO<sub>2</sub> を発生させないと言われ、温暖化対策の一つとして採りあげられています。アメリカや中国では原子力発電所建設のブームになっています。しかし、発電に使うウランを掘り出し、精錬するためには大量のエネルギーが使われ、ウラン鉱滓に含まれる放射性物質の影響で、アメリカ先住民などに癌で苦しむ人びとが多く出ています。また、使用済み核燃料は、何万年も消えない放射能を持つ「死の灰」で、生態系に漏れ出せば取り返しの付かない被害を起こします。1979 年にアメリカのスリーマイルで起った原子力発電所の事故は、原発の安全神話を崩壊させました。1986 年にウクライナのチェルノブイリで起った事故の惨禍は今も尚拡大し続けています。ウクライナでは約 330 万人が原爆症を発症し、ベラルーシでは農地の 25% が永久に耕作不能になりました。

原子力発電にとどまらず、「事故」が起きれば取り返しの付かない被害が、生態系や社会にもたらされるおそれがあるようなプロジェクトは始めるべきではないと思います。原子力発電を温暖化対策の一つとして推進することは、大災厄を招くことに他なりません。

バイオエタノール：コーンやダイズなどを原料とするバイオエタノールは、温暖化からの救い主のようにもてはやされ、特にアメリカでは生産量がうなぎのぼりです。2000 年には約 16 億ガロンだったものが、2006 年生産量は約 49 億ガロンになると予想されています。しかし、最近では、見方が変わって来ています。とどまるどころを知らないかのような穀物価格の上昇の原因の一つとして、気候変動による不作、投機マネーの流入と並んで、バイオエタノール生産があげられています。実は、それだけでなく、2008 年に発表された論文によれば、これまではバイオエタノール生産に伴う土地利用による影響がカウントされておらず、それを勘定に入れるとバイオエタノールは化石燃料の替わりにはならないと言うのです。コーンやダイズなどを栽培するために広大な土地が切り開かれ、植物や土壌、微生物などが吸収し貯め込んでいた CO<sub>2</sub> などが排出され、大変な「借り」が発生する。例えば、草地を開墾してバイオエタノール用のコーンを育てる場合、「借り」を取り返すためには 93 年かかるという計算結果も示されました。

水素：水素電池を使う自動車からは水しか出ないと言われ、水素は温暖化対策の究極的な決めてだとも考えられていたことがあります。しかし、水素を発生させるためには大きなエネルギーが必要です。また、それを運ぶには、極低温まで冷やし液化させる方法などがとられますが、そのためにも膨大なエネルギーが必要です。水素は漏れやすく、また雷や静電気などで発火しやすいという問題もあります。今のところ、水素は温暖化対策のために有効であるとは考えにくいようです。ちなみに、自動車については、その製造過程で巨大なエネルギーを使います。燃料から排出される CO<sub>2</sub> が少なくても、それだけでは解決にはなりません。

CCS (CO<sub>2</sub> の回収・貯留)：火力発電所や製鉄所から排出される CO<sub>2</sub> を回収して地中に注入し貯留する技術が開発・実用化されています。しかし、この方法にも問題があります。高濃度の CO<sub>2</sub> は窒息ガスとも呼ばれます。1986 年にはカメルーンで火山湖から吹き出した高濃度の CO<sub>2</sub> が大気中に充満し、住民 1800 人と無数の生物が死にました。地下の岩盤に閉じこめられた膨大な量の CO<sub>2</sub> は何千年の間嚴重に管理され閉じこめられなければなりません。原発からの放射性廃棄物と同様、果てしなく長く、将来の世代にリスクを背負わせることになります。

排出量取引：日本では電力や鉄鋼、セメントなどの企業は、CO<sub>2</sub> 排出量が制限されれば、生産性の低下につながるとして、この方法に抵抗しています。EU では強い世論に押されて、排出量取引が実行されてきました。しかし、それによって得られた資金が、もしも原発建設などリスクの大きいプロジェクトに回されるとしたら、問題です。また、EU では、企業による圧力により、比較的安く排出権が買われ、大手排出業者による排出量低下にはつながっていないとの批判もあります。このように、いろいろ問題もありますが、使い方によっては排出量低下につながる可能性もあると思われます。しかし、究極的には、電力、鉄鋼、セメントなどの企業は、企業内容そのものを見直すべきではないかと思います。

太陽エネルギー：ソーラー給湯、太陽熱発電は、家庭で利用できるようなシステムになっています。また、太陽電池を使う太陽光発電は、日進月歩で進んでいます。余った電力を電力会社に売電できなければ蓄電が必要で、まだ高価な点も問題です。しかし、例えばドイツでは電力会社に代替システムによる電力を積極的に購入する義務が負わされ、日本とは違って太陽光発電があらたな業種として発展し、地域経済の活性化につながっているようです。

風力発電：デンマークでは、電力の 21% が風力発電でまかなわれています。いくつかの国では、風力発電のコストは化石燃料による発電コストよりも安くなっています。垂直型風力タービンなど、鳥が当たって死ぬ事故が避けられるタイプのものも実用化されているよ

うです。

## サステナブル・コミュニティ

アメリカ先住民の言葉に「7世代先のことを考えて生きよう」というものがあります。サステナブル（持続可能）とは、まさにこのことで、将来の世代に付けを回さず、善いものを継いで貰えるようにしようという考え方だと言えます。サステナブルな都市計画の例としてアメリカオレゴン州のポートランド市があります。ここでは、周辺の緑豊かな地帯の保全、市内の高速道路の公園化、駐車場を歩行者のためのプラザに変えるなどの方策がとられ、路面電車のルートを軸にして、半径400メートル以内に住宅、小売店舗、オフィス、デイケア施設、レクリエーション施設などからなるユニットが作られ、それらのユニットをクラスター状に連ねて市が作られました。サステナブル・コミュニティ（持続可能な共同体）の考え方としては、仕事・生活・サービスエリアを近接させることによって移動を最小限に抑えること、個別輸送を最小限にして公共交通を積極的に利用すること、廃棄物の最小化、コージェネなどの利用によるエネルギー消費の最小化などが含まれます。

土と水と生態系を大切にする農林業の復活、化石燃料消費の最小化、鉄鋼やセメントに依存するシステムからの段階的脱却、自立と循環システム、自給自足を指向する方向転換、地域の自立性の上に立った広い視野での連携、そして、最大の自然破壊をもたらすという戦争からの解放、軍事力と恐怖による支配からの脱却。これらは、今は夢のように思われるかも知れません。しかし、これからの世代に希望を残すためには、わたしたちがこれまでたどってきた道こそ悪夢への道だったこと、本来の道へ戻ることこそ破局からの脱却の希望があることを、言っておかなければならないと思います。