

# 温暖化と私たちの未来

清 忠 師

以下の原稿は、2010年11月に放送された、愛知学院大学放送公開講座の収録用原稿です。アナウンサーの森田さんとは面識がなかったので、人物像を仮定して原稿を仕上げました。2010年9月に2回に分けて行われた収録の際には、森田さんのアドリブに合わせて話をしたので、そのまま読み上げてはなりません。内容について詳しくお知りになりたい場合は、放送に先立って2010年6月に行った公開講座での配布資料に参照文献や図が示してありますので、愛知学院大学公開講座係にお問い合わせください。

## 〔放送1回目：温暖化の原因と予想〕

森田：今年の夏は暑かったですね。温暖化が進んでいるということでしょうか？

清：日本と同程度の温暖化が予想されているミャンマーでは、今年の3月～5月にかけて最高気温の記録を更新し、5月12日には、38℃を超える日が45日間も続いた南部にある国内最大の都市ヤンゴンの最高気温が42.5℃に達したそうです。中部のマンダレーという都市では45.0℃、首都ネピドーでも44.0℃となり、記録が残っている27年間で最高となりました。ヤンゴンでは、昨年11月以来半年の間まったく雨が降らず、水不足が深刻になっていました。水力発電の出力が下がって、停電が頻発していたそうです。5月末の [asahi.com](http://asahi.com) ニュースでこうした状況を知って、日本でも同様の事態が起きるのではないかと、心配していました。

森田：ミャンマー程ではなかったが、温暖化の傾向は共通していたということですね。温暖化の原因は何ですか？

清：温暖化の仕組みは後程ご説明しますが、温暖化の根本的な原因は、人口の爆発的な増加で

す。イギリスで第1次産業革命がおこった1750年ごろから加速度的に人口が増加し始め、1950年に25億人だった人口は、2009年には68億人に達し、現在は、年間8千万人の割合で増加しています。

森田：年間8千万人ということは、40年後には100億人を超えるということですね。

清：天井知らずに跳ね上がっていく人口増加のグラフを見ると、恐ろしくなります。地球という限られた環境の中で水と酸素の消費者である人の数が増え続ければ、水不足や二酸化炭素の増加は避けられません。

森田：地球上で生存できる人の数は、いったい何人なのですか？ まだ私たちは人口増加を続けることができるのでしょうか？

清：名古屋大学の気水科学研究所の所長だった故武田<sup>たかお</sup>喬男先生が、数年前に愛知学院大学で行った講演で、「人口は、今世紀中に100億人に達し、その後、水不足によって30～40億人減少するだろう。」とおっしゃっていました。水という生命活動に不可欠な資源の量からは、現在でもやや過剰な人口ということになります。

森田：この頃、水ビジネスという言葉をよく聞くのは、水不足の現れですね。食べ物も不足して来るのではないですか？

清：爆発的に増加している人類の食を支える方法として導入されている画一化された大規模な農業や畜産業は、よく管理された条件では効率的である半面、環境の変化に敏感です。人にとって都合の良い性質をもった生物だけを選び出すので、生物が本来持っている多様性が失われます。このために、一度に全部がダメになる危険が増します。

森田：私たちの食を支えている工業化された農業や畜産業が、種の絶滅の危機を作り出しているということですか？

清：輸入されたミツバチの3割以上が失踪して果樹の受粉作業に支障をきたしているのは、養蜂業者ができるだけ多くの蜂を生産するために蜂を手厚く保護して育成するので、本来淘汰されるべき弱い蜂が大量に生き残ってしまい、それらが環境の変化で死滅しているという指摘があります。

宮崎県の口蹄疫の拡大では、肉質が良くて育ちが早いという特徴を持つ同じ血統の牛を1か所で大量に飼育しているのですから、1頭が体調を崩して感染すると、たちまち感染が広がってしまいます。

森田：生物多様性を維持するような生き方を模索する必要があるそうですね。温暖化の仕組みについて教えていただけますか？

清：温暖化は、地球の大気が、太陽からやってくる可視光線はよく透過する一方で地表から宇宙空間に放射される赤外線は吸収してしまう成分（温室効果ガス）を、僅かに含んでいるため

に起こります。いっぱい受け取って少ししか返さないから、熱がたまっていくという仕組みです。

森田：僅かには、どのくらいですか？

清：体積比で、大気全体の1パーセントにもなりません。

森田：たった1パーセントで、どの位効果があるのでしょうか？

清：太陽からやってくる光のエネルギーから現在の地表の平均温度を計算すると $-18^{\circ}\text{C}$ にかなりませんが、1961年から1990年までの地表付近の平均気温は $15^{\circ}\text{C}$ であり、 $33^{\circ}\text{C}$ も平均気温を高めています。

森田：ほんの少し温室効果ガスがあるだけで、ずいぶん違うものですね。

清：太陽は、46億年前からゆっくりと輝きを増しています。地表の温度上昇に換算すると10億年で $7^{\circ}\text{C}$ ずつの割合になりますから、もし温室効果がなければ、今から20億年以上前の地表の温度は $0^{\circ}\text{C}$ 以下だったことになり、生物は存在できなかったはずですよ。今から36億年前から地球に生命が存在できたのは、二酸化炭素などの温室効果ガスが、水が凍ってしまわないように地球を暖め続けてくれたおかげです（暗い太陽のパラドックス）。

森田：温室効果ガスのおかげで、太陽が暗かった36億年前から地球の生命が維持されてきたのです。地球の大気に含まれている主要な温室効果ガスは何ですか？

清：水蒸気、二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、オゾン、フロン類などです。

気温によって大気中の濃度が変わる水蒸気を除くと、過去200年間では、温室効果の6割を二酸化炭素がもたらしてきました。近年増加が著しいメタン、一酸化二窒素やフロン、代替フロンは、同じ体積で比較すると二酸化炭素よりもはるかに温室効果が高いので、21世紀には、これらのガスが温室効果の5割以上をもたらすと予想されています。

森田：フロンは、冷蔵庫の冷媒やヘアースプレーなどに使用されてきた、有害な紫外線を吸収してくれている上空のオゾン層を破壊してしまう物質ですね。代替フロンとはなんですか？

清：フロンの代用品として開発された代替フロンは、塩素を含まないのでオゾン層を破壊することはありませんが、フロンと同様に化学的に安定な物質です。このため、長期間にわたって大気中に残存し、同じ体積の二酸化炭素の数千倍の温室効果を示し続けます。

1997年に採択された京都議定書では規制対象から除外されましたが、工場などでの使用量が急増しており、2008年に行われたカリフォルニア大学の研究によると、従来の推定値の3倍も大気中に蓄積されているそうです。

森田：フロンと同じように、大気中に蓄積されやすいのです。二酸化炭素の数千倍の温室効果とは、具体的にはどの程度なのでしょう？

清：代替フロンの8割は埃飛ばし用に使われており、一般市民向けにも埃飛ばしスプレーとし

て販売されています。スプレー缶の側面に赤字で書かれた「地球温暖化ガス」の表記は、1缶使うと21型のブラウン管テレビを毎日4時間、22年間にわたって使った時の二酸化炭素排出量に相当する温暖化をもたらすほど有害だということを意味しています。

森田：そんなに有害なのに、使用量の8割を占める用途に回収が義務付けられていないのは、温暖化防止に逆行していますね。

ところで、寒いよりは暖かいほうが好きという人も多いと思いますが、現在進行している温暖化が問題視されるのはなぜですか？

清：約1億年以前の火山活動が盛んな時期には、地下から噴き出した大量の二酸化炭素によって、地球の平均気温は現在より6～14℃も高くなっていました。南極や北極の氷は溶け、海水準の上昇によって陸地の面積は現在の6～8割ほどに減少していましたが、植物は高い二酸化炭素濃度によって光合成を盛んに行い、地球は多様な生命にあふれていました。つまり、温暖化の本質的な問題は、その気温の高さではなく、温暖化の速さにあります。

森田：どの位の速さなのですか？

清：これまでに地球の生物が経験してきた最も早い温度上昇が100年に0.08℃であったのに対して、ここ100年間の温度上昇は0.74℃であり、年々その上昇率が増加しています。生物の適応能力を超えた温度変化の速さにより、多くの生物が絶滅の危機にさらされているのです。

森田：寿命の長い生物ほど、温度上昇についていけなくなりそうですね。この温暖化の根本的な原因は、人口の急激な増加であるとおっしゃっていましたね。

清：南極の氷に閉じ込められた大気分析から、温暖化をもたらす大気中の二酸化炭素やメタン、一酸化二窒素などの濃度が、人類が石油や石炭を使用するようになってから、急激に増加し始めたことがわかっています。

化石燃料のエネルギーを利用することで暮らしが楽になった人類の寿命は延び、人口増加と高齢化が続いています。この急激な人口増加に対応するために、二酸化炭素を吸収してきた森林が次々と伐採され、住宅地や農地が変わっていきました。

森田：急激な人口増加に伴う化石燃料使用量の急増と森林の急速な減少によって、これまでに経験したことのない速さで温暖化が進んでいるのですね。

清：メタンは、牛などの大型のはんすう動物のおならやげっぷ、排せつ物からの発生量が化石燃料の採掘に伴う発生量とほぼ等しいので、牛肉を食べる程、温暖化が進行します。

一酸化二窒素は、合成窒素肥料の使用や硝酸製造の際に大気中に放出されます。

森田：世界中が温暖化の防止に取り組んでいますが、100年後にはどの程度の温度上昇になるのでしょうか？

清：2009年の11月に日米欧の国際研究機関が発表した論文によると、二酸化炭素の排出量は、

国連の気候変動に関する政府間パネル（IPCC）が予想する最悪ケースのシナリオに沿って増加しつつあるそうです。2007年の IPCC の第 4 次評価報告書によれば、この場合には今世紀末の地球の平均気温は、20世紀末より 2.4～6.4℃上昇するそうです。

森田：平均で 6℃以上も上昇する可能性があるのですか？

清：温暖化の速さは、海水の多い赤道付近と大陸の内部や高緯度地方とでは異なり、大陸の内部や高緯度地方ほど早く進行します。最近20年間の北極地方の温度上昇は10年あたり1.22℃に達していますから、100年後には、北極地方は現在より12℃以上も高温になると予想されます。これは、地球の平均気温が6℃ほど上がることを意味しています。

森田：名古屋の気温が今より6℃も上がったら、夏は大変です。何とか温暖化を食い止めたいですね。

清：実は、さらに急激な温暖化の可能性が、いくつか指摘されています。1例を挙げますが、メタンハイドレートをご存知でしょうか？

森田：メタン……何ですか？

清：二酸化炭素の7倍の温室効果を示すメタン分子を水分子が包み込んだ白い結晶で、温度が低くて圧力が高い世界各地の海底に存在しています。地上に取り出せば自然にメタンガスと水に分かれるので、化石燃料に代わるエネルギー源として採掘調査が進められています。愛・地球博のガスパビリオンでは、白いメタンハイドレートの塊が燃えるのを見せていました。

森田：海底に閉じ込められている温室効果ガスを燃料に利用するのですね。

清：メキシコ湾沖で海底油田から原油が漏れ出したように、メタンハイドレートの採掘現場で事故が起これば、メタンガスが大気中に放出されて、温暖化が進行します。

更に心配なのは、温暖化による海水温の上昇に伴って世界各地の海底でメタンハイドレートの分解が観察されており、メタンハイドレートを押さえつけている海底の土砂とメタンハイドレートとの間に空洞が広がりつつあることです。支えを失った海底の土砂が地滑りを起こし、氷河期の終わりにノルウェー沖の海底の斜面で起こった規模のメタンガスの放出が起こると、地球の平均気温は数年で10℃上昇すると計算されています。

森田：100年で数℃ではなく、数年で10℃ですか。そうなってからは、もうどうしようもないですね。

### 〔放送2回目：温暖化の影響と対策〕

森田：前回は、温暖化の原因と予想される温度上昇の値についてお話しいただきました。今回は、温暖化によって私たち地球の生物の未来がどうなるのかについてお話しください。

清：生物は互いに補い合って生きていますから、人の未来についてお話しする前に、自然の中で生きる植物・動物と、人が管理している農作物・畜産物の未来についてお話ししましょう。

森田：まず植物の未来についてですね。

清：植物は、太陽光線と水と無機物から、他の生物が生きるために必要な酸素と有機物を合成してくれています。桜の花の開花が年々早まっているように、植物の成長にとって気温はとても重要な要素ですが、植物は歩くことができませんから、暖かくなってきたからと言って以前と同じ気温のところに引越すことは簡単ではありません。風に乗せて種を遠くに飛ばすことができる松ですら、10年かけて15km 移動するのが精一杯です。一方、100年間に地球の平均気温が3～4℃上昇するという、やや楽観的な想定ですら、日本の平地の気候帯は10年で40～50km も北上してしまいます。従って、生育に時間のかかる山の木々は、温暖化の速さに対応できずに衰退していくと予想されます。自然に生える植物（自然植生）の規模は、人が管理している植物（管理植生）の約11倍ですから、他の生物に対する影響は甚大です。

森田：緑豊かな山並みが消えていくのですよね。野生の動物たちはどうなるのでしょうか？

清：山の木々が失われれば、野生の動物たちは食べ物のある人の居住区に降りてくるしか生き残る道はありません。急速に氷が失われている北極では、ホッキョクグマが餌をとることができなくなって、ゴミ捨て場や台所に現れるようになっています。

森田：水の中の魚たちはどうなりますか？

清：水は土や空気よりも温まりにくいので、海中での温度上昇は地上ほど大きくありませんが、サンゴはわずか1～2℃の温度上昇で白化を起こすため、現在あるサンゴ礁は、あと30年ほどですべて消失するだろうと考えられています。サンゴ礁は魚たちの揺りかごですから、多くの魚たちが影響を受けます。

森田：多くの動植物が絶滅していきそうですね。農業の未来はいかがですか？

清：農業で最も大切なのは、水の管理です。温暖化は大陸の内部や高緯度地方ほど早く進行しますので、赤道域と大陸内部の温度差が減少していきます。温度差がなくなると風を起こすための気圧の差もなくなりますから、赤道付近の水蒸気を含んだ大気が大陸内部に運ばれにくくなり、地表からの水蒸気の蒸発速度の増加も加わって、大陸内部では水不足や塩害の広がりが予想されます。

森田：世界各地で山火事が起こり、ロシアは干ばつで小麦の輸出を止めていますね。南半球のオーストラリアでも干ばつが深刻だそうです。一方、パキスタンや中国では大規模な洪水が起こりましたが、これはなぜですか？

清：雨は、10日に1度ぐらいの割合でしとしと降るのが理想です。一時期に強い雨が降ると、雨水が地中に浸み込む前に流出してしまい、作物の生育に役立たないばかりか、洪水になって



作物を押し流してしまいます。

気温が上昇すると空気中に含まれる水蒸気の量が増えますから、雲ができるときに発生する熱エネルギーが増し、激しい嵐が起りやすくなります。河川の流域の平たん地は農作業に適していて人口が集中していますから、こうした地域での風水害の増加が心配されます。

森田：暖かくなって二酸化炭素の濃度が増せば作物がよく育ちそうな気がしますが、必要なところに水が届かなかつたり、雨が強く降りすぎたりして上手くいかないのですね。

清：その他にも、気温が高くなると病害虫が増えますので、農薬の使用量が増加すると考えられ、安全な農作物を得ることが難しくなりそうです。

森田：畜産業にはどのような影響が出ますか？

清：夏になると牛の乳の出が悪くなるように、家畜・家禽類は、体温の高い鶏を除いて20℃以下の比較的低い温度を好むので、温暖化は畜産業の生産性の低下につながります。

森田：私たち人には、どのような影響が出るのでしょうか？

清：この夏は、多くの方々が熱中症で亡くなりました。20代の健康な男性ですら、冷房が利用できないと死亡することがありますが、65歳になると体温調節機構が急に衰え、平均気温が28℃以上になると死亡率が急増します。温暖化が進めば、熱中症で亡くなる高齢者が増えると予想されます。

また、高温にさらされて免疫力が衰えている状態では、さまざまな疾病にかかりやすくなります。冬に氷が張らなくなって蚊が越冬できるようになると、マラリアなどの熱帯地方の伝染病が広がりやすくなります。

温度上昇に伴う病原菌の増殖、食物腐敗の加速、水不足による汚染された水の利用の増加などにより、赤痢、コレラ、サルモネラなどの飲食物を介した感染症の広がりも予想されます。アメリカでは、今年の6～7月のサルモネラ菌による食中毒が例年の4倍に達し、アイオワ州のある養鶏場から出荷されていた生卵約4億個が回収されました（8月20日の朝日新聞夕刊より）。

森田：小さな島国が海に沈みそうだとよく耳にしますが。

清：IPCCの最新の報告書では、地球の平均気温が3～4℃上昇するくらいでは南極の氷の融解は起きないとして、100年後の海水準の上昇を50cm程度であると予想しています。平均すると1年間で5mmの上昇になりますが、サンゴは最大でも1年間あたり8mmしか成長できませんから、この程度の海水準の上昇でも、サンゴ礁に守られている小さな島国にとっては死活問題です。

一方、この予想を上回る温度上昇が起きて淡水の7割を占める南極や北極域の氷がすべて融解すると、それだけで海水準が約67メートル上昇します。加えて、大気中に含まれる水蒸気

量の増加によって雲が生じる際に放出される熱エネルギーが増大するので、台風や洪水、高波の被害が増加すると予想されます。

森田：日本でも、名古屋・東京・大阪など、沿岸部の海拔0メートル地帯には人口が集中していますから、早急な対策が必要ですね。

ところで、ここ数年にわたって異常気象が続いていますが、これも温暖化と関係があるのでしょうか？

清：緯度の割にイギリスやヨーロッパの沿岸域が温暖なのは、極地方と赤道域の海水の温度差によって海水が循環し、赤道域で得た熱エネルギーを高緯度地方に運んでいるからです。温暖化は極地方で早く進行しますから、次第に極地方と赤道域の海水の温度差が小さくなっており、この海のベルトコンベアーが弱まっています。

大気も同様に赤道域で温められて気圧が高まり、低温な極地方に向かって移動する（温度風）途中で、地球の自転によるコリオリ力で曲げられて偏西風となっていますから、極地方と赤道域の気温の差が小さくなると偏西風が弱くなり、蛇行の波長もこれまでとは変わってきます。こうした海水や大気の流れの変化により、地球全体は温暖化しているのにこれまでよりも急激に寒冷化する地域が現れるとともに、各地域の気候が不安定になるものと予想されます。

森田：「例年と比べて」という表現が、意味を持たなくなりそうですね。毎年、同じように繰り返される四季の変化の中で生きてきた日本人には、なかなか受け入れられない事態です。

清：人為的な温暖化ガスの増加による気候の変化を受け入れられない心情は良くわかりますが、二酸化炭素が増加すれば必ず起こる事があります。

大気中の二酸化炭素が増せば、海水に溶け込む二酸化炭素の量も増加し、海水が酸性化していきます。炭酸カルシウムの外骨格をもつ海の生物（サンゴや貝、プランクトンなど）は、海水がある程度以上に酸性化すると炭酸カルシウムが溶けてしまい、生存できません。

海水の酸性化の影響が初めに現れるのは、水温が低く水圧の高い極地方の深海です。クジラ、魚や、ほかの動物プランクトンのえさになるミジンウキマイマイは、今後数10年以内に南極海から姿を消す可能性が高くなっています。

森田：体の大きなクジラはたくさん餌をとる必要があるでしょうから、影響は深刻ですね。クジラたちを絶滅の危機から救うためには、大気中の二酸化炭素の濃度をどの程度に抑えれば良いのでしょうか？

清：現在の約1.5倍の濃度（600ppmv未満）に抑えることが必要だと計算されています。この濃度に抑えるためには、直ちに二酸化炭素排出量の増加を止めて、最終的には1950年当時の排出量としなくてははいけないようです。さらに厳しく、二酸化炭素を現在の濃度（380ppmv）に抑えるためには、ただちに二酸化炭素の排出量を大幅に減少させなければなりません。現在



の社会情勢では、2倍の濃度に抑えることすら困難です。

このため、大気中の二酸化炭素を地下深くの帯水層に高圧をかけて閉じ込めてしまおうという事業が、日本を含む先進国を中心に進められています。水のあるところには生物が生息している可能性が高いというのが宇宙科学の常識ですが、この事業を進めている人たちにはそうした観点が欠如しています。

森田：二酸化炭素を送り込めば、帯水層に住んでいる生物が死んでしまうかもしれませんね。

清：地下深くの生き物のことなどどうでもよいとお考えの方がいらっしゃるかもしれませんが、地球上の生物は、目に見えないような微生物を含めて互いに補い合って1つの生命圏を形成しています。これからしようとしていることが他の生物にどのような影響を与えるのかを考えずに目先の利益だけを追求する姿勢を改めなければ、本質的な問題解決にはつながらないだろうと思われまます。

森田：36億年という長い年月をかけて育まれてきた地球上の生物には、皆それぞれの役割があるということを理解して、行動を決めていく必要があるということですね。

清：事実上、人類は地球の資源をほぼ独占していますが、水や大気は人類のためだけにあるわけではありませんし、人類だけで生きていけるわけでもありません。自然科学の普及が進めば、こうしたことを理解して生活する人が増えるのではないのでしょうか。

森田：一人一人が事態を正確に把握し、何をなすべきかを考えていかなければ、温暖化の問題を解決することは困難なようですね。