

総論

# 1 気候とは何か



木本 昌秀  
KIMOTO Masahide  
東京大学大気海洋研究所/教授

地球は人間にとって住みやすい奇跡の惑星である。人類に好適な気候はどのように成り立っているのか、異常気象などのゆらぎはどのように生ずるのか、あるいは、人間活動による気候変化についてわれわれはどのように考え、適応、対応してゆけばよいのだろうか。

## 気候とは

季節の変化はいつの年でも美しく、花を愛で、新緑を楽しむとき、四季の美しい日本に生まれたことに幸せを感じる。はじめじめとした梅雨ですら、作物に滋養をもたらし、盛夏の訪れとともに旨いビールが飲めることを思えば、一興であろう。

気候とは、気温や降水量など日々変化する気象要素の長期間の平均を指す。平均期間の取り方は、話の文脈によって変わりうるが、気象機関が異常気象や災害などを調査する場合には、人の一世代、30年間を取ることが多い。世界の各地、各季節での30年平均値を気候値とし、年々でそこからずれた分を(平年)偏差と呼んでいる。日本だけでなく、世界の各地で平年の季節変化は顕著であるが、年々の偏差、ゆらぎもまた大きく、30年に一度あるかないかの大きな偏差を記録したときには、異常気象と呼ばれている。

## 気候のなりたち

地球の平均気温は、太陽から受ける放射エネルギーと地球がその温度に応じて宇宙へ射出する放射エネルギーのつりあいの結果決まっている。万物は、その温度に応じた波長帯の電磁波を射出するが、太陽光は高温であるので波長が短く、相対的に低温な地球はより波長の長い赤外線を射出している。

このつりあいを単純に計算すると、地球の平均温度は、摂氏マイナス18度、ということになるのだが、大気中にわずかに含まれる二酸化炭素や水蒸気が赤外波長域の放射を吸収、射出する性質を持った

め、地球はその表面に毛布をかぶったような形になり、毛布の下の地表は摂氏プラス15度、すなわち、東京の4月中旬の平年値程度の誠に住みやすい惑星になっているのである。宇宙からは、雲の上あたりを平均気温-18℃と見ていることになり、先ほどの単純計算と矛盾はしない。

さらに地球の各地をくわしく見ると、赤道付近の低緯度では地面が太陽に正対しているので、受ける太陽光エネルギーは、地面が(ほぼ直進してくる)太陽光に対して斜めになってしまっている高緯度よりも大きい。先ほど地球全体の温度を考えたときのように、地球が宇宙に射出する赤外線だけがこれにつりあうとすると、赤道は実際より灼熱、極域は現状にまして極寒となってしまう。

この緯度による不均衡を多少なりとも緩和して、より住みやすい星たらしめているのが、大気や海洋の運動である。これらは地球上を動くことができるの

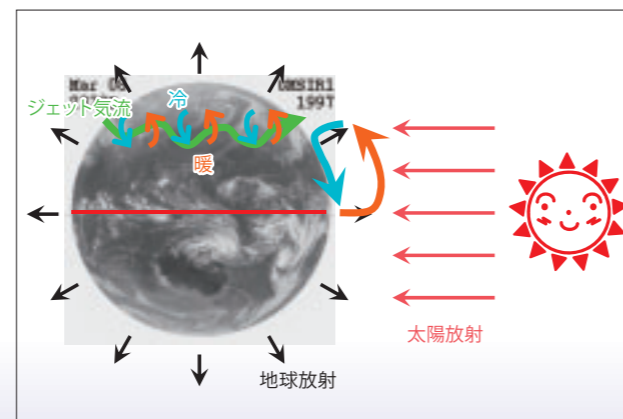


図1 太陽放射(赤)、地球放射(黒)と地球の気候

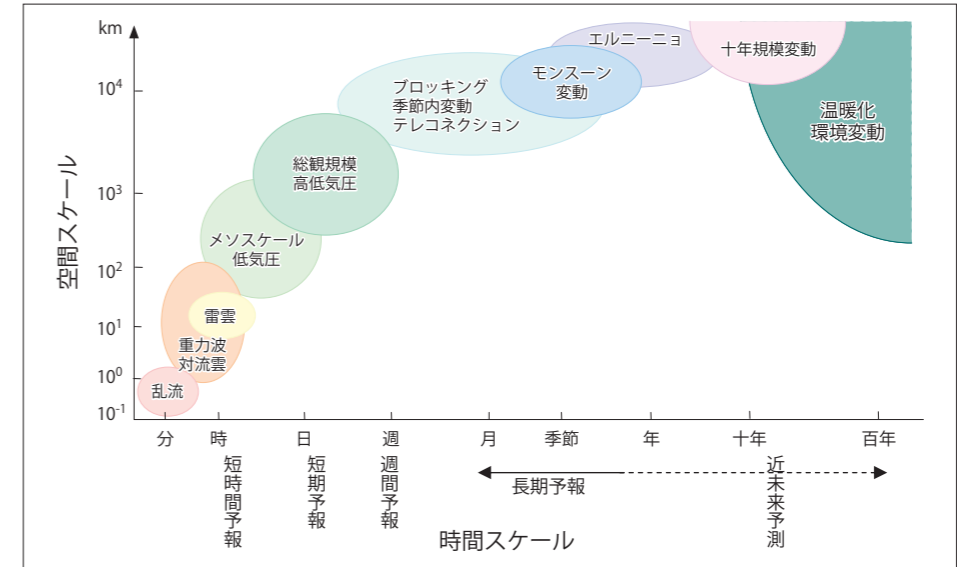


図2 気象現象の時間・空間スケール

で、低緯度から高温の空気、海水が高緯度に、また、高緯度からは低温の空気、海水が低緯度に移動して放射エネルギーの不均衡を緩和してくれているのである。

空気の動きをわれわれは風と呼んでいる。海からの水蒸気を含んだ風は、低温の上空へ上昇するとき、雲を作り、雨を降らせる。天気、気象の変化、その長期平均としての気候は、このような太陽エネルギーの地球内での再配分過程として生じている。

地球の気候をさらに多様で興味深いものにしてるのは、ユーラシアやアメリカなどの大陸の存在が海陸分布を経度方向に大きく変化させているからである。同じ緯度でも、大陸の東海岸と西海岸では、気候はかなり違う。東京とほぼ同じ緯度にあるロサンゼルスで、平年気温が14~23℃に収まり、年間降水量が380mm程度であるのに比して、東京では、それぞれ5~27℃、1,470mmであることだけでも様子はお分かり頂けよう。一般に、大陸東岸は寒暖差が大きく、降水量も多いが、西岸は温和で雨も少ない。大陸と海の分布により、低緯度と高緯度の寒暖の境目も経度方向に大きく蛇行しているからである。ちなみに、地球規模でのこの高低緯度の寒暖差の大きいところには、そのしるしとして上空をジェット気流が吹いている。寒暖差に伴う気圧の差につりあうよう風が吹くからである。

日本上空は、世界中でもジェット気流のもっとも強い場所であり、春や秋は、移動性高低気圧に伴うジェット気流の細かい蛇行の通過とともに天気がほぼ周期的に変化する。ジェット気流が北へ蛇行している部分に日本が覆われれば相対的に暖かくなるが、

数日してジェット気流が南へ蛇行した部分が通過する時には寒くなる。日本では2010年の春、その前の冬の数十年に一度という北半球規模の寒冬のなごりと南からのエルニーニョの影響で、寒暖の差が大きく、関東では4月の遅い降雪のタイ記録、天候不順のため野菜が高騰するなどわれわれの生活にも大きな影響を与えた。

## さまざまなスケールでの気候のゆらぎ

異常天候の話が出てきたが、地球上で空気は実にさまざまな空間、時間規模で変動しており、これが、日々の天気の変化、異常天候、さらに長期の気候変動をもたらしている。コーヒーカップにミルクを注いでかき混ぜると複雑な(だが美しい)模様が見えるが、衛星の写真でも見られるように、地球の大気も千々に乱れている。流体力学でいうところの乱流である。手が付けられないほどに乱れておれば、統計的な記述しか成り立たないのであるが、幸い、先に述べたような放射の緯度分布、大陸規模の強制要因などがあるので、秩序だった部分も多く、したがって、天気予報や、気候学といった学問の余地もあるのである。

ジェット気流が流れているような中緯度では、ジェット気流の流体力学不安定により、日々の天気変化をもたらす高低気圧波が生じることはよく知られており、一週間程度なら天気予報は可能である。あらゆる予測の常で、先にゆくほど予測誤差は大きくなってゆくが、ある日ある町の天気予報が意味をなさなくなる一カ月やそれ以上先でも、一週間以上の天気変化の平均としての「天候」の変動なら、ゆっくり変化する

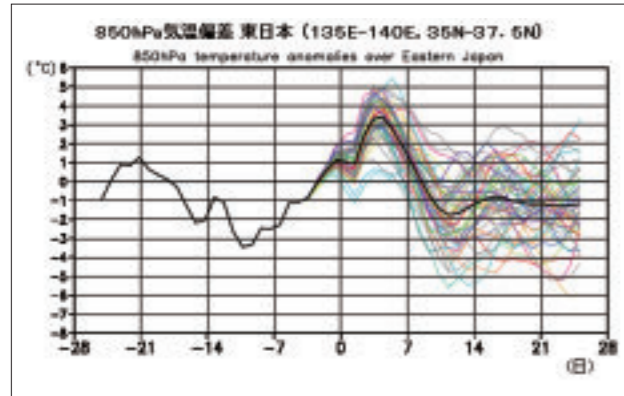


図3 1カ月予報で予測誤差が広がる例(黒実線は観測値、色は少しずつ異なった初期値から予報した値;気象庁HP資料)

海洋の影響などを加味して多少の予測可能成分はあると考えられる。このような長期予報の分野は、防災の観点からも、また、学問的な観点からも挑戦しがいのある分野である。

気象や気候の一つの大きな特徴は、時間なら数十秒から数百年以上、空間的にも数mから地球の大きさにあたる数万kmまで、広い時空間領域にさまざまな特徴的な現象が生じ、それに応じた気象や天候のさまざまなスケールのゆらぎが生じることである。

移動性高低気圧に伴う明日明後日の天気予報はまあまあ当たるのに、ゲリラ豪雨と呼ばれるような局地的短時間豪雨の予測が難しいことは、後者に伴う個々の積乱雲スケールの観測と予測が極めて困難だからである。したがって、天気予報、気候変動予測といっても、予測の時間スケールによって対象となる気象現象は異なってくる。

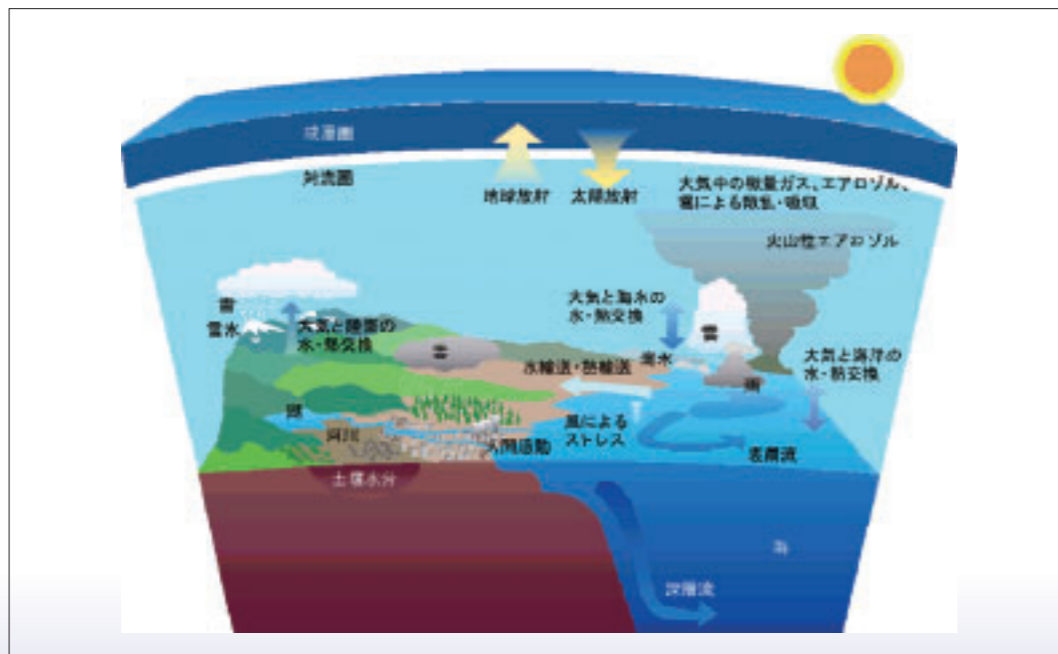


図4 気候システムの模式図

明日の天気もろくに分からないのに、今後百年の温暖化がわかるのかといったご指摘を耳にすることがある。もっともな部分もあるが、明日の株価の話と、次の彗星が近づく時期をごっちゃにしているようなところがある。百年先の温暖化予測のときは、ある日ある町の天気の話でなく、大陸規模の平均気候の現在値からの変化が議論されているはずである。日本の天候の一カ月予報は難しいが、エルニーニョ現象が半年後に起こるかどうかは、近年よく当たるようになってきた。

少し横道にそれてしまったが、天気、気候は色々な時間スケールでゆらいでいる、変動しているということを強調したかった。これらのゆらぎは、気候を形成する、大気、海洋、陸面、雪氷などからなる気候システムに本来的な、自然の変動である。なにしろ自由度の大きなシステムであるため、複数の過程が定常にバランスすることなどありえず、常に大まかな気候平均値のまわりをゆらぎ続けているのである。30年に一度以下の低頻度現象が異常気象と呼ばれることは先に述べたが、異常気象がときどき生ずるのが平常であるのが地球の気候である。

### 人為要因による気候変化

さて、これまでに述べたような自然のゆらぎですら、豪雨、洪水、干ばつや寒波、熱波など、人間社会にとって有用な予測はなかなかおぼつかないのであるが、近年はこれに加えて、人間活動そのものが気候の数十年～数百年にわたる長期変化、具体的には

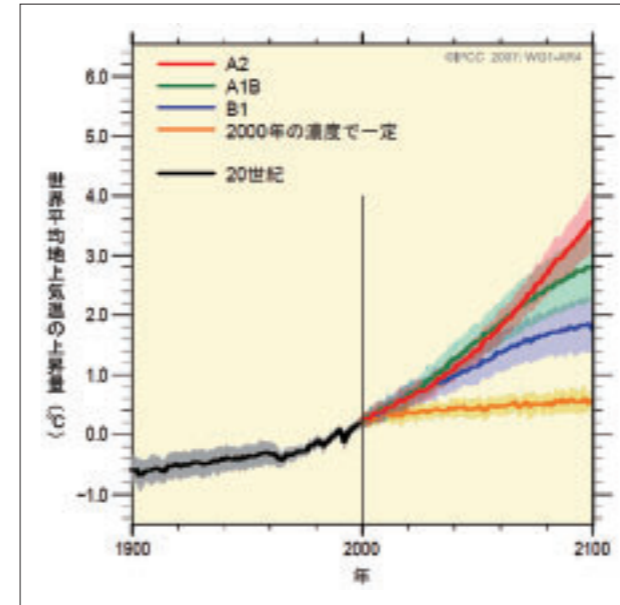


図5 世界の平均気温の予測(IPCC, 2007)

温暖化を引き起こしつつあることが、問題になっている。産業革命以後、とくに20世紀後半以降の化石燃料燃焼や森林伐採による大気中への二酸化炭素等の温室効果ガス放出が陸上生態系や海洋による自然の吸収能力をはるかに上回っているため、大気中濃度が数十年以上の時間スケールで増加し続けているのである。

現在までの研究知見をまとめた気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の報告書によれば、今後20年間全球平均で0.4℃程度の温暖化は避けがたく、抜本的な排出緩和策が取られなければ、気温上昇は加速する。温暖化に伴い大気中の水蒸気量も増えるため、日本の梅雨期や台風など雨の降る時期・場所では降雨強度の増加が懸念される。海面水位の上昇や、農水産業への影響、熱帯性伝染病の北上など、予測に大きな不確実性はあるものの、全人類的な適応と緩和策の即時実施が求められているところである。

われわれは、複雑な気候システムの変動のメカニズムの理解からはほど遠いのではあるが、現時点での科学的知見に照らして、人為要因による地球温暖化への対策を遅らせてよいと考える要素は無いといえる。ことに、大量の温室効果ガスをすでに排出してしまっており、排出量の減少傾向の開始が確認できていない現状では、ある程度の温暖化に対する適応策の実施は世界の、そして社会の各方面で喫緊であると考えられる。

確かに地質学的な数千年～数十万年以上の時間スケールでは、地球はかつて数度以上の気候変動を

経験してきた。氷河期と現在のような寒氷期の温度差は10℃に達する。しかし、100年で数度というようなべらぼうな速度の変化はおそらく初めてであり、その速度は、生態系(や人類社会)の自然適応を困難にするものである。

一方で、定量的な適応、緩和策の立案には、現在の予測精度は不十分であろう。平均気温の上昇幅にも大きな誤差幅がつくが、異常気象や豪雨などの極端な気象現象の起こり方にどのような地域でどのような変化が起こりうるのか、現在の予測は満足な答えを与えていない。気温や降水量の(ゆらぎの部分も含めた)変化が社会の各方面で具体的にどのような影響を及ぼすかの評価(影響評価)も気象要素の予測以上に重要である。

やや手前味噌になってしまうが、30年前にはエルニーニョの予測など夢であった。季節予報も統計と経験にもとづいたもので、温暖化して台風がどう変化するなど研究テーマにすらなっていなかった。しかし、いまでは、コンピュータ上の気候モデルがこれらの課題に次々と挑戦しつつある。もちろん、この進歩は、コンピュータの高速化だけでなく、観測的研究にも裏付けられたものである。近年では、大気、海洋の動きだけでなく、大気汚染物質や化学成分の反応、海中、土中の炭素などの行方も含めた統合地球環境モデルが動き始めた。われわれも、2013年に予定される次期IPCC報告書へ貢献すべく、炭素循環、自然変動も含めた近未来予測、豪雨、台風など極端現象の予測をターゲットとして新しい予測計算を鋭意行っているところである。

このような進歩を背景として2009年には、1979年と1990年以来3回目の世界気候会議が開かれ、気候予測科学の推進と予測情報の社会・経済・政策への活用推進が議論された。気候予測も天気予報並みに社会への貢献を意識できるレベルに近づきつつあるということであろう。

### 変化する気候、そして人間社会

幸いなことに、地球温暖化といっても日本から四季がなくなるほど劇的な変化ではないし、人類の知恵は、かならず有効な緩和策、技術を産み出せるものと信じている。しかし、気候は変化しつつある。われわれの自然に対する意識も、社会や役所や企業のあり方も、価値観も国際政治も、すべていままでのままではうまくないであろう。必要以上に怖れず、しかし、侮らず、変化に対応してゆかねばなるまい。