

Three intuitive models for estimating elementary physical processes connected to climate change

長崎大学大学院生産科学研究科
冨塚 明

グローバルな環境問題、とりわけ地球温暖化問題の解決は急務である。この問題の対処には、気候変動分野を専門としない圧倒的多数の研究者が温暖化問題の本質をつかむことがひじょうに重要と思われる。

本研究は気候変動の複雑な現象を、物理的素過程にわけ、それぞれに対して簡単な直感的モデルを適用することで温暖化問題に対する認識を高めることを目的とする。モデルは以下の3つである。(1)地球の基本的な温度を決定するための零次元単層大気モデル、(2)温室効果ガスの影響を見積もるための一次元放射平衡モデル、(3)将来の大気中の二酸化炭素濃度を予測するための7ボックス炭素循環モデル。

地球の温度は第一義的には太陽からの日照量で決まるが、これには様々な時間スケールでの揺らぎが含まれる。太陽の内部活動は主として約11年周期の小さな揺らぎを起こす。また他の惑星による摂動や、地球が不完全な球体であることで引き起こされる歳差によって数万年のスケールでの日射量の揺らぎが生じる。その変動振幅は日射量の約5%にも達し、過去の気候に大きな影響を及ぼしたことは間違いない。

零次元単層大気モデルは適切なパラメータを用いることで地球温度の大まかな様相を示すことができる。このモデルに基づいたエネルギー収支方程式から地表温度 15°C が導かれる。温室効果ガスが増加すれば、地表が放つ赤外線が大気で反射される量が増加することで地表温度が上昇し、大気上層の温度が降下する。逆に、大規模な火災等で大気中に放出される煤は太陽光を吸収する。そのために太陽光の透過量が減少し、地表温度が降下、大気上層の温度が上昇する。さらにこのモデルに ice-albedo 効果を導入することで、地表面が低温になると冰雪面積が拡大して albedo が増加するシミュレーションが可能となる。このフィードバック効果は温暖化や冷却化を約10%高める結果になるが、それは理論値に非常に近い。

一次元放射平衡モデルは温室効果ガスの数密度と赤外線吸収スペクトルから、その放射強制力と温暖化ポテンシャルを見積ることができる。水蒸気の存在を考慮して計算した結果、二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素による放射強制力はそれぞれ IPCC 報告書(2007)見積の1.25倍、1.67倍、1.13倍で、粗い近似にも関わらずメタンを除いて良い一致をみている。温暖化ポテンシャルについても誤差は20%以下である。また1750年

以降の二酸化炭素の増加による地表温度の上昇は 0.75°C と計算できる。

炭素循環を探求するには直感的なボックスモデルが効果的である。ボックスは炭素の仮想的なリザーバ（貯留）であり、本研究では大気、海洋（表層、中層、深層）、堆積物、陸上生物圏、土壌の7つとし、表層海洋→大気と大気→陸上生物の移動に非線形効果を加えた。このモデルに基づく炭素の保存則から過去250年にわたる大気中の二酸化炭素濃度と現在の各ボックス間の移動量を再現することができる。また今後100年にわたる放出シナリオに基づく大気中二酸化炭素濃度の計算値も IPCC 報告書（2001）見積りに良い一致をみている。

一方、植物起源の人為炭素と産業革命以前に存在していた「自然炭素」とでは同位元素である ^{13}C の含有率が異なることに着目し、各ボックスに人為炭素だけのボックスを内包させてシミュレーションを行った。人類はこの250年間で約 284Pg の人為炭素を放出してきたが、現在、大気中に存在するものはその約22%に相当する 64Pg となった。この数値から求まる $\delta^{13}\text{C}$ 値と実測値との差はわずか0.5%である。大気中の全炭素増加量は 170Pg であるが、残りの 106Pg は他のリザーバから移動してきた「自然炭素」である。一方、海洋、陸上には残りの人為炭素約 220Pg のうちそれぞれ半分が蓄積されていることになる。仮想的な人為炭素の動きを追うことで地球の炭素循環システムと人類による擾乱作用がよく理解できる。

また大気のボックスを南北に分けた拡張ボックスモデルは現在の南北半球に見られる 3ppmv の二酸化炭素の濃度差を再現できる。このモデルを使ったシミュレーションでは南北半球間の交換係数である 0.9PgC/yr が導かれる。この値は気象データや他のモデルによる見積りにほぼ一致している。現在の南北間の濃度差は、化石燃料の燃焼による二酸化炭素排出量が南半球では圧倒的に少ない（全体のわずか5%）ことが原因である。もし南半球での排出量がもっと多ければ、この濃度差はもっと小さかったといえる。一方、これまでのそれぞれの半球での土地利用の変化に起因する二酸化炭素排出や海洋への二酸化炭素の吸収の変動は、半球間に差を生み出すほどの影響を与えてはいないことがわかる。

本研究では気候変動に関連した物理的素過程を記述する3つのモデルを利用して、いくつかの重要な現象のシミュレーションを行なった。それらの結果は IPCC 報告書の見積りと良い一致をみた。これら3つのモデルは単純だが直感的で適度の精確さを備えたモデルであり、気候変動の本質を理解するには有益なモデルといえる。