

論文審査の結果の要旨

| 報告番号 | 博(生)乙第39号 | 氏名 | 富塚 明 |
|--|-----------|---|------|
| 学位審査委員 | | 主査 武藤 鉄 司 副査 中村 武 弘 副査 北村 美 江 副査 中川 啓 副査 河本 和 明 | |
| <p>論文審査の結果の要旨</p> <p>富塚明氏は昭和58年3月に東北大学理学研究科博士課程前期2年の課程を修了後、同年9月に長崎大学教養部に助手として着任した。平成3年4月に教養部助教授、平成9年10月に環境科学部助教授、平成23年4月に大学院水産・環境科学総合研究科准教授となり、現在に至っている。長崎大学着任以降、同氏は自然界における非線形現象の視覚化や、地球システムのモデリングなど、一貫してシミュレーションの手法による環境の物理に関わる教育・研究に取り組んできた。その主たる成果を主論文「Three Intuitive Models for Estimating Elementary Physical Processes Connected to Climate Change (気候変動に直結する物理的素過程を評価する3つの直感的モデル)」としてまとめ、また参考論文として学位論文の印刷公表論文3編(うち審査付き論文3編)、学位論文の基礎となる論文3編、その他の論文1編を付して、平成24年5月に博士(環境科学)の学位を申請した。長崎大学大学院生産科学研究科教授会は、平成24年7月18日の研究科教授会において論文内容等を検討した結果、学位申請の申請資格ありと判定し、上記の審査委員で構成される審査委員会を設置した。審査委員会は主論文等の内容を慎重に審査し、公開論文発表会を開催するとともに、試験および試問をおこない、それらの結果を平成24年9月5日の研究科教授会に報告した。</p> <p>以下、論文審査内容について記載する。</p> <p>地球温暖化はきわめて複雑な物理プロセスであり、その全体像の正確な把握と未来予測は難しい。一般市民はもとより、気候変動を専門としない研究者にも、温暖化現象の本質はなかなか捉え難い。本研究は、気候変動を複数の物理的素過程に分け、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現下の地球温暖化の物理を、精度を損うことなく、平易に把握できることを示したものである。提示したモデルは、(1)地球表面の基礎温度を決定する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一次元放射平衡モデル、(3)将来の大気二酸化炭素濃度を予測する7ボックス炭素循環モデル、の3つである。これら3つの直感的モデルに基づくシミュレーションの結果はIPCC(2007)による諸推定値とよく一致しており、モデル自体の単純さにも関わらず、現象を正確に捉えていると評価できる。3つのモデルによる成果を以下に要約する。</p> <p>1. 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表面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</p> | | | |

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。氷アルベド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、これはよく知られている理論値に非常に近い。

2. 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。水蒸気量の高度分布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 (2007) による見積値の 1.25 倍、1.67 倍、1.13 倍で、粗い近似にも関わらず良く一致する (メタンについては評価が分かれるところである)。計算された温暖化ポテンシャルの誤差も 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。
3. 7 ボックス炭素循環モデルが想定する炭素リザーバは、大気、海洋表層、海洋中層、海洋底層、海底堆積物、陸域環境、土壌であり、表層海洋から大気への移動、また大気から陸上生物への移動にそれぞれ非線形効果を加えてある。このモデルに基づく炭素の保存則から過去 250 年間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できる。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 (2001) の見積値と一致する。
4. 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。7 ボックス炭素循環モデルにこのことを取り込んでシミュレーションすると、地球表層の炭素循環システムと人間によるその擾乱作用の全体像が捉えられる。人類はこの 250 年間で 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 22% (64Pg) でしかない。この計算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と理解される。
5. 7 ボックス炭素循環モデルにおける大気リザーバを南北に分けた拡張ボックスモデルは現在の南北半球での二酸化炭素の濃度差 (3ppmv) 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とほぼ一致する。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ことが原因である。これまでの南北半球それぞれ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いないことが明らかになった。

以上のように、本論文で提唱された 3 つの直感的モデルは温暖化を含む気候変動の素過程を精度よく捉えることができるだけでなく、人間活動に由来する温室効果ガスの全地球的挙動についても平易な理解を提供することができる。学位審査委員会は、本研究が環境科学および環境科学教育における重要な貢献であることを認め、博士 (環境科学) の学位に十分値するとして、合格と判定した。