

論文の内容の要旨

論文題目 衛星受信赤外放射スペクトルに含まれる地球放射収支情報に関する研究

氏名 木村 俊 義

本研究では、人工衛星による赤外スペクトル観測データに含まれる大気構造と放射収支に関する情報の抽出について詳細な研究を行った。地球放射収支観測を目的とした衛星センサプロジェクトは ERBE(Earth Radiation Budget Experiment)が有名であり、地球大気構造と放射収支の相関についてこれまで多くの議論が行われている。しかし、ERBE は短波長域と長波長域全体の波長積分値を観測をしているために、気候の変化などによる大気構造の変化を全ては捕らえ切れていない可能性がある。例えば、温暖化が引き起こす全球平均長波放射フラックスの変動は 10 年間で 1W/m^2 以下程度であり、ERBE 等によるモニターからは変化を検知できない。そこで本研究ではこれまでよく調べてこられなかった雲を含む大気の大気構造と大気上端での多波長放射輝度の関係を調べる。すなわち、多波長放射輝度は地球・大気系の構成要因の変動に敏感に反応するので、これらの依存性を研究することによって、大気構造変化が引き起こす放射収支への影響を調べることができる。

このような研究の為にまず、雲量や温度・湿度の鉛直プロファイルに関する既存データセットが多波長放射輝度の衛星観測値をどれだけよく説明できるかを調べた。さらに、雲を含む大気からの多波長放射輝度の応答を利用して、逆に大気構造を推定することによって、雲を含む大気構造の変化が全波長放射収支や、スペクトル区間ごとの放射収支に及ぼす影響評価を行った。このような逆問題解析法はこれまでほとんど開発されてこなかったもので、本研究では新たにニューラルネットワーク法を開発した。

適用する人工衛星データとしては最も長期間のデータが存在する TOVS/HIRS を用い、新たに開発した放射伝達コードを用いて解析を行った。新規開発の放射伝達コードは相関 k 分布法

(Correlated k distribution; CKD)法を用いて衛星応答関数を考慮したものであり、高速且つ Line by Line(LBL)計算に比しても精度が維持されている。このように本研究の大きな特色は雲を含む全天大気の構造と放射収支を同時に扱う所にある。

本研究ではまず、最初に一般的な雲と水蒸気の鉛直構造を仮定し、波長と各高度におけるネットの放射フラックスと、TOVS/HIRS が観測する波長別放射輝度における大気構造の変化の影響を調べた。HIRS 放射輝度に対する雲を含む大気構造の変化の影響はほとんど調べられていないので、雲と水蒸気、主要温室効果気体である CO₂ の構造を独立に変化させ、それぞれのチャンネルに対する応答を調べた。その結果、HIRS 観測値から雲情報を抽出するような簡単なインデックスが作れることが明らかになったので、まず、HIRS 観測値に雲統計の変化に関する情報が含まれているかを簡単に診断した。実際の衛星データにあてはめると、ISCCP (全球衛星雲気候計画)による雲気候統計とも良好な相関を持つことが明らかになった

次に精度が良いと考えられている客観データセットと雲統計データを使用して HIRS の放射輝度の再現を行った。ERBE と比較して、HIRS 観測値および放射伝達モデルから計算された理論値から推定された赤外放射量の積分値は、晴天と全天の両方でバイアスがあることが分かった。例として、図1に HIRSTAR による理論値、図2に ERBE-HIRSTAR の全天相関の図を示す。更に雲と水蒸気に特徴的なチャンネルを個別に見ていくと、雲に良く感応するチャンネルでやや輝度が高く、水蒸気に感応するチャンネルにおいて輝度が低く、大気モデルの上部での水蒸気量の過多、また雲についても雲量、雲頂温度、雲水量などに誤差があることが分かった。

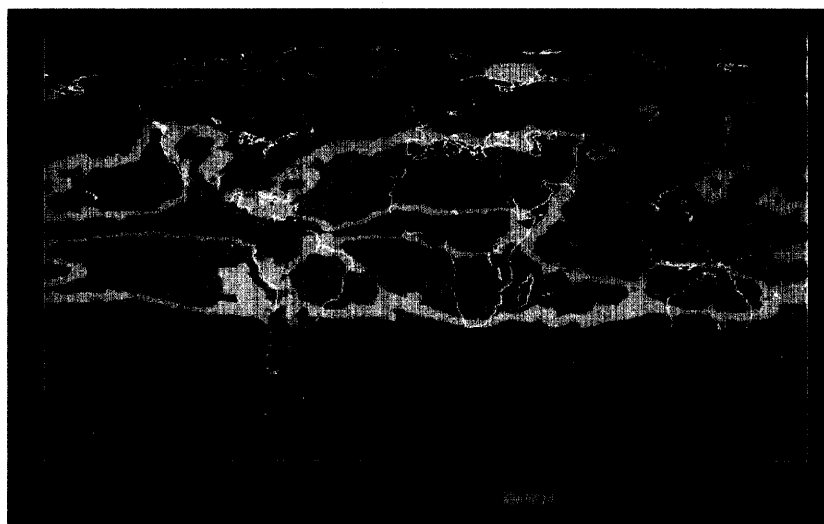


図1 HIRSTAR による 1985 年 7 月での全天条件での理論値の月平均 OLR を全球分布で示した図。単位は[W/m²]。ERBE の結果と比較して南半球高緯度域でフラックスが低い特徴がある。

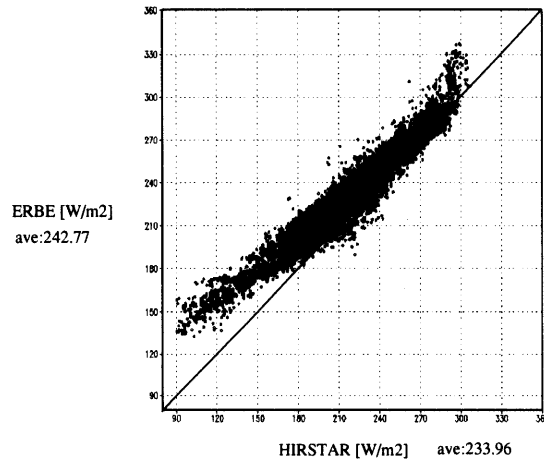
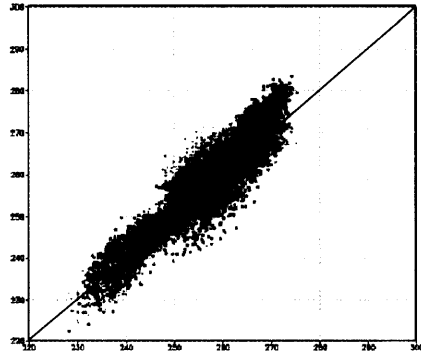


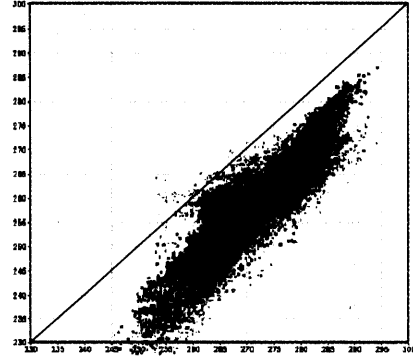
図2 Y軸にERBE観測値、X軸にHIRSTAR理論値を取ったOLR相関図。1985年7月の全球全天データを使用し、単位は[W/m²]である。低フラックスの領域でHIRSTARの値がERBEに比較して低く、また高フラックスの領域においてもHIRSTARの値がERBEに対して低い傾向があることが分かる。

このようなバイアスを修正する方法として、輝度値とより整合するような大気構造を求めることを考えた。そのために実際の気候にあらわれるこのような複合的な変化を網羅するように大気構成要因を変化させたHIRS放射輝度の大規模なデータベースを作成した。これを教師データとして、ニューラルネットワークを教育することにより、大気構成要因の推定を試みた。その結果、現実に知られている気候の地域的特徴と比較して矛盾のない結果が得られた。また水蒸気については大気モデルで使用した水蒸気量との比較として差が見られた。

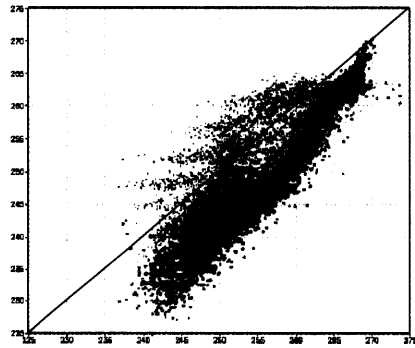
次に得られたこれらの結果を元に既存データセットによって構築された大気モデルを修正し、再び放射スペクトルの理論値を求めた。図3に修正前後のチャンネル毎の理論値と観測値の相関図を示す。その結果、既存データセットによる理論値に見られたバイアスが改善される場合があることが明らかになった。従って、既存データを利用して構築した大気モデルには、雲の幾何学的厚さなどの情報不足や統計データの上層雲量の不適切さが存在しており、それが逆問題解析による補正によって是正されたと考えられ、このことは本研究で提案する手法の有効性を示していると思われる。



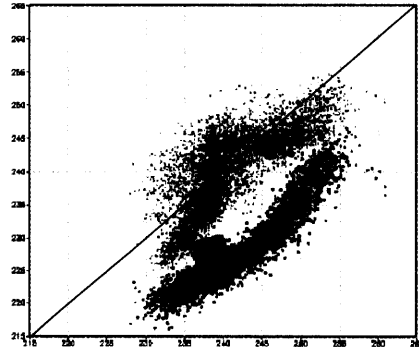
チャンネル 9 (9.71 μm) 雲・地表面温度等



チャンネル 10 (8.16 μm) 下部水蒸気総量



チャンネル 11 (7.33 μm) 中部水蒸気総量



チャンネル 12 (6.72 μm) 上部水蒸気総量

図 3 HIRS 観測値と HIRSTAR 理論値のチャンネル毎相関図。X 軸を HIRS 観測値、Y 軸を大気モデル予測値とする。単位は等価黒体温度[K]であり、黒が修正前のモデル、青を修正後のモデルとして示した。各々のチャンネルは、図の下に示した大気構造要素に応答を持つ。

新たに得られたこのような知見をもとに本研究では ERBE などによって得られる短波フラックスおよび長波フラックスに代わって大気構造の変化により敏感に反応する区間スペクトルフラックスという概念を導入した。このような波長区間毎の放射フラックスでは、それらの区間内に衛星受信観測値をもたない HIRS 観測値からも、正しく推定される。本研究では区間フラックスの概念の利用例として、良く知られている大規模な気候変動と HIRS 観測データをから得られた区間スペクトルフラックスの関係を調査した。ENSO 監視海域では、上層雲量と上部水蒸気量が ENSO の周期に伴った変化を見せている。この海域で区間スペクトルフラックスの評価をしてみると、特に雲量の変動によって、大気の窓領域で放射収支の変動の半分以上の変化が起きていることが明らかとなった。この領域での長波放射収支が、水蒸気変動より上層雲量変化による窓領域での放射の遮蔽に強く影響を受けていることが定量的に示された。

本研究を通して、多波長のセンサ HIRS を使って ERBE と同様の積分的放射収支を評価しつつ、かつその波長区間による大気の放射収支を説明できる大気構造を推定する手法を示すことが出来た。このような研究によって、いままで困難であった全天状態における雲と水蒸気が同時に引き起こす放射収支への影響を定量的に評価する手法の有効性を示した。