

熱赤外リモートセンシング

小野 晃

1. 地球周回軌道からのリモートセンシング

赤外域における地球のリモートセンシングとしては、気象衛星ひまわりによる静止軌道からの波長 $10\ \mu\text{m}$ 帯における観測がなじみが深い。一方、最近のグローバルな地球環境問題への対応から、主として両極を通る地球周回軌道（極軌道）に人工衛星を打ち上げ、種々の赤外域観測が行われている¹⁾。

図1は極軌道から地球観測を行う場合の、3つの方式を示す。方式Aは地球の接線方向に太陽を背にして大気を観測するものである。この方式は太陽を放射源にした大気の透過測定であり、大気の高さ方向の情報を得るのに都合がよい。方式Bは、Aと同じく地球の接線方向の観測であるが、暗黒の宇宙（冷空間）を背にして大気を観測する。この場合は大気の熱放射だけを検知することになる。

方式Cは地心方向の観測である。大気が透明な波長領域においては地球表面や雲の2次元画像計測にもつばらこの方式が用いられる。一方、大気が半透明の波長領域では、大気自身の計測に用いられる。地表は一般に大気よりも温度が高いため、粗っぽくいえばこの方式は暖かい地表を放射源にした大気の透過測定とみなせる。厳密には、大気自身も低い温度ではあるが熱放射を発生しているため、透過測定と発光測定の組み合わせである。大気の高さ分布に関する情報は反転法によって求める。方式Cは対流圏における大気温度や水蒸気量の垂直分布、微量成分気体の濃度の計測に適している。

ここでは主として方式Cによる、2次元画像、大気の垂直分布、熱放射収支の計測方式を述べる。

2. 地球表面と雲の計測

高度が500~1000 kmの周回衛星から地心方向を観測して、大気の窓領域で地表あるいは雲頂の2次元画像を取得する方式を図2に示す。1次元方向は衛星の飛行自体により走査し、それに垂直な方向の走査には2種類の方式がある。図2(a)は基本的に単素子の放射検出器を用い、平面鏡の回転や振動により走査するもので、機械走査式あるいはウィスクブルーム走査式と呼ばれる。図2(b)は多数の放射

検出素子を衛星の進行方向に対して垂直方向に一直列に並び、それぞれの素子の信号を電子的にシリアルに読み出す方式で、電子走査式あるいはプッシュブルーム走査式と呼ばれる。いずれも衛星の進行とともに地表の2次元画像が带状に得られる。

プッシュブルーム走査式を実現するには、多素子検出器と信号のシリアルな読み出し機構が必要で、可視、近赤外、短波長赤外の領域ではすでに実用化されている。熱赤外域では電子走査方式の多素子放射検出器が未だ実用段階に至っておらず、これまでの衛星搭載機器はすべて機械走査式である。分光にはバンドパスフィルターやグレーティングが用いられる。

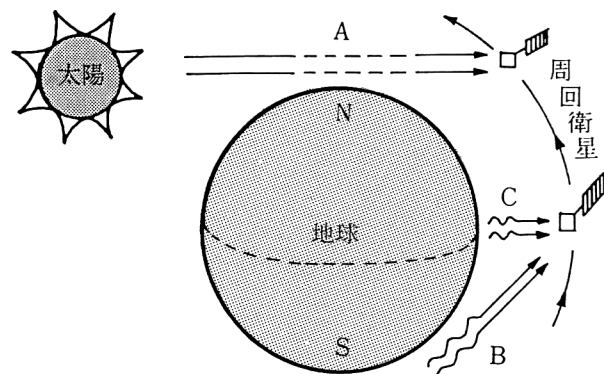


図1 周回軌道からの地球の観測方式。

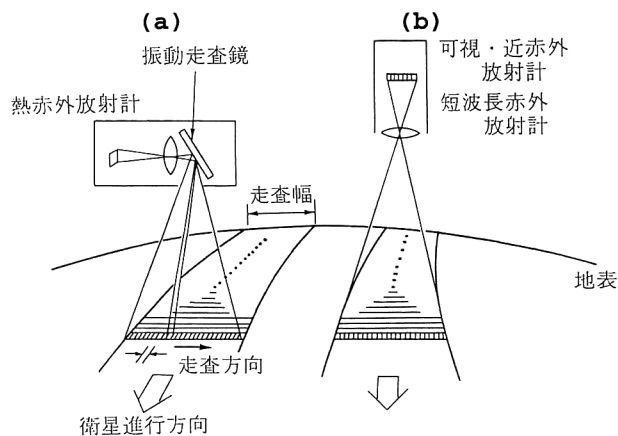


図2 地表の2次元画像の観測方式。(a) 機械走査式(ウィスクブルーム走査式)、(b) 電子走査式(プッシュブルーム走査式)。

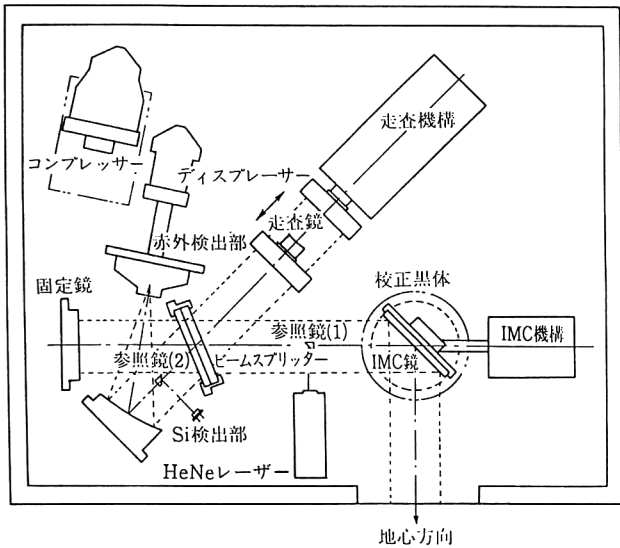


図3 フーリエ分光放射計の光学系。

1998年にNASAの極軌道衛星に搭載されて打ち上げ予定の日本のセンサー ASTERは、この方式である²⁻⁴⁾。

3. 大気の計測

大気に関しては、対流圏や成層圏における化学反応とダイナミクスに関心がもたれている。大気ダイナミクスは気候学にとって重要であり、温暖化を予測する大循環モデルの正確さの検証は観測データによらなければならない。モデル計算の精度向上のために、信頼性の高い計測データが求められている。

大気の吸収・発光・透過スペクトルは地表や水面のそれと比べるとはるかに微細なスペクトル構造を含んでいるので、大気のセンサーには一般に高いスペクトル分解能が要求される。分光方式は観測目的に応じてグレーティング方式、フーリエ方式、エタロン方式などが用いられる。

図3は日本の極軌道衛星 ADEOS(みどり)に搭載したフーリエ式分光放射計 IMG (Interferometric Monitor for Greenhouse Gases) の光学系を示す⁵⁾。波数分解能は 0.1 cm^{-1} である。これにより大気温、水蒸気量、微量大気成分の濃度の計測が行われている。

4. 放射熱収支の計測

地表面の温暖化ないし寒冷化は地球、太陽、宇宙の三者の間のエネルギー収支の変化によるものである。太陽から地球が受け取る放射パワーと地球が宇宙に向かって放散する放射パワーがそれぞれ直接計測できれば、温暖化・寒冷化の解明に有用であろう。このために周回軌道から、地球で反射される太陽光のパワーの総量と、地表から宇宙空間に放散する熱放射のパワーの総量とを別々に計測して、地表の放射熱収支の評価が行われている。

米国航空宇宙局 (NASA) と米国海洋大気庁 (NOAA)

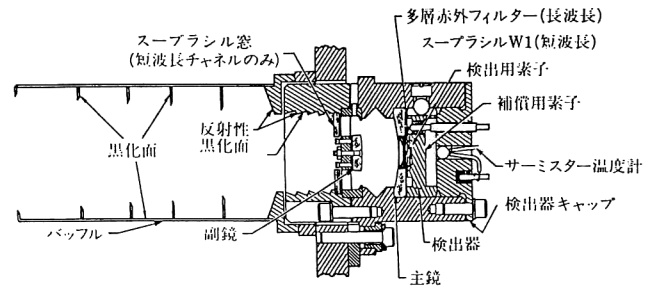


図4 地球放射収支センサーの光学系。

により地球放射収支センサーが1980年代半ばから極軌道に打ち上げられ、運用されている。図4はそれを構成する放射計の光学系を示す⁶⁾。カセグレン式反射光学系により地表面を結像する。検出器には広い波長領域で平坦な感度を有する熱型放射検出器 (サーミスターボロメーター) を用いている。

検出素子の直前に光学フィルターを設置することによって波長の選択を行い、また必要ならば2次鏡の位置にも光学フィルターを設置する。3種類の放射計が搭載されており、それぞれ異なる光学フィルターの波長特性をもつ。第1の放射計は $0.2 \sim 5 \mu\text{m}$ までの短波長領域で太陽反射光の放射輝度を計測する。第2の放射計は $5 \sim 50 \mu\text{m}$ までの長波長領域で地球放射の放射輝度を計測する。第3の放射計はフィルターを入れずに $0.2 \sim 100 \mu\text{m}$ までの波長領域で太陽反射と地球放射をあわせた放射輝度を計測し、第1と第2の放射計との整合性を確認する。

地球規模の環境変動に関して、宇宙から地球の広域観測を行うことが各国の努力で行われている。熱赤外放射は温暖化の機構そのものであるだけに、熱赤外リモートセンシングは直接的な情報を与えてくれるものと期待される。

文 献

- 1) 小野 晃: “衛星リモートセンシングによる地球温暖化計測”, 応用物理, **61** (1992) 569-575.
- 2) H. Fujisada and A. Ono: “Observational performance of ASTER instrument on EOS-AM1 spacecraft,” Adv. Space Res., **14** (1994) 147-150.
- 3) 小野 晃: “地球観測用光学センサ”, 計測と制御, **30** (1991) 905-910.
- 4) 小野 晃, 佐久間史洋: “光学画像センサー ASTER とその校正”, 計測と制御, **35** (1996) 675-678.
- 5) T. Ogawa, H. Shimoda, M. Hayashi, R. Imasu, A. Ono, S. Nishinomiya and H. Kobayashi: “IMG, interferometric measurement of greenhouse gases from space,” Adv. Space Res., **14** (1994) 25-28.
- 6) L.P. Kopia and R.B. Lee III: “Thermistor bolometer scanning radiometer: Applications and flight experience,” Opt. Eng., **31** (1992) 156-165.

(1998年4月27日受理)