123 Satellite Remote Sensing による氷況データ取得とその評価

東京大学 三木 達至[○]、山口 一、林 昌奎、加藤 洋治

Sea ice information using satellite remote sensing and their evaluation

Tatsuji MIKI*, Hajime YAMAGUCHI*, Chang-Kyu RHEEM**, Hiroharu KATO*

Aircraft and ship are often used to observe sea ice condition. The observation by radar from shore stations is another effective method. Recently it was realized that the satellite remote sensing was very effective to obtain sea ice information. The satellite remote sensing is superior to other observation methods in its capability of wide range observations and in its regularity. There are several types of sensors and each has its advantages and shortcomings. This paper discusses their advantages and shortcomings and purpose how to use the data obtained by satellite remote sensing.

1. 緒言

近年、サハリンにおける油田開発が活発になってきている。また、日本～ヨーロッパ間の短縮航路として、北極海航路(Northern Sea Route)開発に関する研究も盛んである。これらの開発にあたっては、「氷況データの取得」が必要不可欠である。現在は、氷況データの取得の主な手段として船舶による観測、航空機による観測、沿岸レーダーによる観測が用いられている。しかし、これらの方法では広範囲にわたる観測は不可能であり、気象条件等により定期的なデータ収集は望めない。これらの方法に取って代わる手段として、人工衛星を用いた氷況データ取得に関する研究が脚光を浴びつつある。

本研究では、人工衛星により取得されたデータというのはどのような性質を帯び、どのような用途に適しているかという点について述べる。

2. センサータイプと取得データの性質

地球資源探査などを目的とした人工衛星に搭載されるセンサーは、以下のように大別される。

・可視光線センサー

可視光線の波長領域をとらえるセンサー。NOAA 衛星の AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)や、LANDSAT 衛星の TM(Thematic Mapper)がこれに該当する。人間の目で見た場合と同様の情報が得られる。誰が見ても理解しやすい情報ではあるが、雲や霧が発生すると観測できない、流水と雲との判別ができない、等の理由で流水観測にはあまり適していない。

・アクティブマイクロウェーブセンサー

マイクロ波の波長領域(0.3cm～30cm)をとらえるセンサー。RADARSAT 衛星や、JERS-1 衛星、ERS-1 衛星の SAR(合成開口レーダー)がこれに該当する。マイクロ波を照射し、反射波の強さを計測する。分解能が非常に高く、気象条件、日照条件に左右されない。

・パッシブマイクロウェーブセンサー

マイクロ波をとらえるセンサー。DMSP 衛星の SSM/I(Special Sensor Microwave / Imager)や、Nimbus-7 衛星の SMMR(Scanning Multichannel Microwave Radiometer)などがこれに該当する。観測対象が放射するマイクロ波を計測する。雲を透過できる、昼夜を問わず観測可能である、等の利点を有するが、一般的に分解能が低い。

3. センサータイプと可視化の手法

・可視光線センサー

可視光線を観測しているので、特に可視化のプロセスは必要ない。宇宙から写真を撮影しているのと同じ事である。Fig.1 は AVHRR により観測された北海道近辺の画像である。雲、流水ともに白く観測されるため、両者の区別がつかない。

・アクティブマイクロウェーブセンサー

一般に公開されている画像は、後方散乱係数の大きさを白(大)～黒(小)という様に色の濃さで置き換えて表現したもの。可視光線による観測結果と大差ないように見えるが、情報の内容は全く異なる。氷の種類まで判別が可能とされているが、データ解析のアルゴリズムは開発段階にある。Fig.2 は JERS-1 の SAR によるサロマ湖周辺の画像である。

* 東京大学工学部

** 東京大学生産技術研究所

Fig.1 Image of Hokkaido (AVHRR)

Fig.2 Image of Saroma Lake (JERS - 1 SAR)

Fig.3 Image of Northern Hemisphere sea ice concentration (SSM/I)

・パッシブマイクロウェーブセンサー

分解能が低いため、アクティブマイクロウェーブによる情報のように観測値をそのまま数値にしても情報としての価値は低い。観測値を特定のアルゴリズムで解析することにより、流水の密接度を算出することが可能である(後述)。Fig.3 は、SSM/I データをもとに北半球の流水密接度を算出し、画像化したものである。

4. DMSP SSM/I による流水の密接度計算

DMSP 衛星に搭載された SSM/I センサーによる観測結果を利用すると、流水の密接度を数値的に求めることが可能である。SSM/I は、19GHz(V・H)、22GHz(V)、37GHz(V・H)、85GHz(V・H)の4周波数・7チャンネルのマイクロ波を観測することができる。マイクロ波による観測の特徴として、気象条件、日照条件に左右されにくいという点が挙げられるが、パッシブマイクロウェーブによる観測は、それらに加えて、データが入手しやすい、解析のためのアルゴリズムが一般に公開されている、といった特徴をもつ。

SSM/I による観測では、分解能が低いため、個々の流水の種類を判別する事は不可能であるが、既定の領域(25km×25km)の中に、一年氷、多年氷、開水面がそれぞれどれだけの割合で存在するかを算出することが可能である。

SSM/I が観測するものは、 T_B 値(Brightness Temperature、輝度温度)という値である。 T_B 値は、観測対象からのマイクロ波の放射強さを表したものであり、放射率と表面温度により決定される[1][2]。一年氷、多年氷、開水面の3種類の観測対象についての T_B 値を予め調査し、平均的数値を求めると Table 1 の様になっている(この数値を tie point という)[3]。SSM/I による観測結果と、Table 1 の数値を利用することにより、流水の種類と密接度が推定できる。

Table 1 : tie point

	開水面	一年氷	多年氷
19GHz V	177.1	258.2	223.2
19GHz H	100.8	242.8	203.9
37GHz V	201.7	252.8	186.3

NSIDC(National Snow and Ice Data Center)では、SSM/I センサーによる観測結果から流水の密接度を求めるためのアルゴリズムを2種類公開している。NASA Team Algorithm と Comiso Algorithm である。前者は比較的簡明なアルゴリズムで、地域、季節に関係なく計算パラメータは一定である。後者は、季節に応じて詳細なパラメータ設定を用いている。

5. SSM/I データの精度に関する評価

本研究では、前述した NASA Team Algorithm を用いてオホーツク海の密接度を算出し(Fig.4)、その精度に関する評価を行った。評価には、比較対象として(財)日本水路協会が提供しているオホーツク海水況データ(Fig.5)を用いた。このデータは、船舶、航空機、流水レーダーによる観測に加えて、気象衛星「ひまわり」の映像をもとに作成された流水マップである。

両者の比較により得られた結論は、

- ・ 氷縁は、両データで大きな相違はない。従って、氷縁を描くことに関して SSM/I データは信頼できる。
- ・ 流水密接度は、明らかに SSM/I データの方が小さい。差が大きい部分では、10 分率で 3~5 もの差がある。

というものである。密接度に大きな差が生じた原因としては、

- ・ (財)日本水路協会データは、観測点が少なく、観測も局地的であることから、密接度が正確に求められていない。また、このデータは漁業関係者にも利用されていることから、密接度を高く見積もっている可能性がある。
- ・ NASA Team Algorithm では地域や季節に依存しない計算を行うために流水の特性を平均化しているが、この平均値とオホーツク海の流水の特性が大きく異なっていた。

の 2 点が考えられる。

オホーツク海の気温は、流水の存在する海域の中では比較的高い。 T_B 値は放射率と表面温度の関数であるため、気温の違いによる T_B 値の誤差の発生が予想される。また、氷が新しく、塩分濃度が高いことから放射率が低くなることも予想される[2][5]。加えて、降雨により、流水の表面に水たまりができることも考えられる。そこで、これらの気象条件を考慮したパラメータ設定を行い、再計算を行った。具体的数値としては、流水の放射率の値を Table 2 の様に変更した。多年氷の放射率を変更していないのは、オホーツク海には多年氷は存在しないためである。その結果、(財)日本水路協会データと SSM/I データの差異が小さくなることが確認された。同時に、計算に影響を及ぼすのは主として放射率の違いであり、表面温度の違いは計算にほとんど影響ないことが判明した。

Table 2：放射率の修正

	一年氷	多年氷
19GHz V	0.98 → 0.80	0.96
19GHz H	0.92 → 0.77	0.87
37GHz V	0.96 → 0.78	0.80

Fig.4 Estimated sea ice concentration in Okhotsk sea (SSM/I)

Fig.5 Observed sea ice concentration

6. 結言

リモートセンシングにより取得されたデータは、観測範囲が広いこと、データが定期的かつ頻繁に取得可能であること、またセンサーの種類により気象・日照条件に左右されない観測が可能であることから、流水存在海域を航行する船舶のための氷況データとしては最適である。人工衛星によるリモートセンシングを用いれば、北極海周辺など気象条件が厳しく、船舶や航空機による観測が難しい海域の氷況も容易に入手できる。

SSM/I データは、東京大学環境海洋工学専攻応用流体工学研究室において開発された氷況予測モデルの初期値として用いられているが、このモデルについては、実際に数値予測を行い、出力結果を検討した結果、精度、計算時間ともに十分使用に耐えるものであると確認されている。SSM/I データの分解能は低いが、一度に広い範囲を観測できる(走査幅 1394km、オホーツク海ほぼ全域と同程度)、時間の経過したデータはインターネットを通じて無料で公開されているため入手しやすい、などの点において優れている。

SAR データは、SSM/I データよりも詳細なデータとして活用することが期待される。例えば、SAR データから流水の移動速度を求める研究も行われている。分解能が高いため、観測範囲は非常に狭い(JERS-1 SAR で 75km)のが一般であるが、カナダの RADARSAT 衛星に搭載された SAR は 500km という広範囲を観測可能である。ただし、SAR データは衛星の種類(RADARSAT、JERS-1 等)を問わず非常に高価であり、サンプル画像として無料で公開されているものの他は入手しにくいのが現状である。

AVHRR、TM に代表される可視光線センサーのデータは、さまざまな分野において利用が盛んである。また、可視光線センサーを搭載した衛星は数が多いため、データの量も豊富である。加えて、AVHRR データは衛星からの直接受信が可能であるため、即時性という点においては大変優れているといえる。ただし、観測が気象条件に左右されること、夜間の観測が不可能であることが欠点である。

以上のようなデータの特性を踏まえると、

- ・ SSM/I データは広範囲の氷況分布(概況)を知るのに利用できる。同時に、密接度が数値的に求まることも利用すべきである。
- ・ SAR データは SSM/I データ中の必要部分をピックアップする形で、より詳細な情報(既定領域内での氷群の分布等)を得るために利用すべきである。
- ・ AVHRR・TM は、気象・日照により制限を受けるが、そのデータの多さから、SSM/I・SAR データに対する補完的な役割として利用すべきである。

といったような利用法が自ずと浮かんでくる。

また、リモートセンシングによるデータは、追跡調査(過去のデータに予測モデルを適用し、モデルの精度を調べる等)という目的に関しては大変有力である。しかし、流水海域を航行する船舶のための氷況データ取得および予測という目的で使用するのであれば、正確な氷況予測を行うためにも最新のデータをいち早く入手することが重要である。

7. 謝辞

本研究は INSROP の一部として行った。INSROP(北極海航路開発研究計画)は、シップ・アンド・オーシャン財団(SOF)、Fridtjof Nansen Institute (FNI)及び Central Marine Research and Design Institute(CNIIMF)の3機関の協力契約により遂行中の国際共同プロジェクトであり、日本財団のご支援をいただいている。御関係各位に厚く御礼申し上げる。

図表の出所：

Fig.2：財団法人 リモートセンシング技術センター

Fig.3：National Snow and Ice Data Center

Fig.5：財団法人 日本水路協会

Table 1：National Snow and Ice Data Center

参考文献：

- [1] Robert Massom : Satellite Remote Sensing of Polar Region, Lewis Publishers, 1991.
- [2] Simon Haykin , Edward O.Lewis, R.Keith Raney, James R.Rossiter : Remote Sensing of Sea Ice and Icebergs, A Wiley-Interscience Publication, 1994.
- [3] NSIDC : DMSP SSM/I Brightness Temperatures and Sea Ice Concentration Grids for the Polar Regions, NSIDC Distributed Active Archive Center, 1996
- [4] 財団法人 日本水路協会：流水情報、財団法人 日本水路協会、1995～1998.
- [5] 野澤 和男：砕氷工学、船舶技術協会、1994.