衛星画像による屈斜路湖の御神渡りの研究 中村和樹、戸山陽子、西尾文彦、東海林明雄(北海道教育大学釧路校)

Study on detecting the thermally induced ice ridge in Lake Kussharo using satellite data

Kazuki Nakamura, Yoko Toyama, Fumihiko Nishio, Akio Toukairin (Hokkaido university of education Kushiro campus)

1. はじめに

北海道東部に位置する屈斜路湖を、衛星マイクロ波レーダの画像から見ると、明らかに御神渡りと見られる表面構造が捕えられている。この湖における、湖氷とマイクロ波レーダの散乱特性の検証を行うことにより、氷厚や御神渡りの分布を調べることが可能となり、湖氷の厚さや生成、発達などを知ることが期待される。

御神渡り現象は、湖氷が温度の低下によって収縮してできた亀裂に、新しい氷板が生成し、再び温度の上昇によって伸張するときの氷板圧縮定力による破壊現象である。そして、御神渡りの発生領域では、氷板の隆起と沈み込みが起こり、湖水の構造は複雑になる。御神渡りの生成の一連象物理的に類似していると考えることができるられると、湖氷と大気との間の熱収支という側面が大変とまた、湖氷と大気との間の熱収支という側面をとまた、湖氷と大気との間の熱収支という側面をとまた、湖氷の連続的な観測が大変重要でした。場できる。以上の視点から、衛星マイク布を調べることができる可能性について考察する。

2. 観測地点

屈斜路湖は、北海道の東部に位置する淡水湖であり、周囲57km、面積79.7km²、最大水深117.5mと、全面結氷する淡水湖として日本最大の面積を持ち、その成因はカルデラである。湖の中央に周囲12kmの中島を浮かべ、南

からは和琴半島が突き出している。東岸には砂湯 や池の湯などの温泉が湧き、冬はオオハクチョウ が飛ぶ。 屈斜路湖の位置を図1に示す。



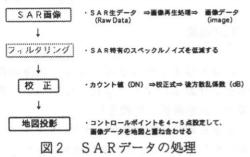
図1 屈斜路湖の位置

3. 衛星観測データ

3-1. マイクロ波合成開口レーダデータ

マイクロ波合成開口レーダ(SAR:Synthetic Aperture Radar)は、マイクロ波が雲を透過して地球表面を観測できることから、雲の有無に関係なく高分解能データが取得できる。SARを搭載した衛星として、1992年2月に宇宙開発事業団(NASDA)が通商産業省(MITI)と共同で、地球資源衛星(JERS-1:Japanese Earth Resource Satellite-1)を、1995年にはカナダ宇宙機関(CSA)が、RADARSATを打ち上げた。RADARSATに搭載された、観測波長が5.7cmであるCバンドSAR、JERS-1に搭載された観測波長が23.5cmであるLバンドSARからのデータは、湖氷や海氷の振る舞いを把握するために役立つことが多くの観測事例から実証されている。

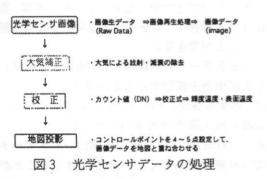
マイクロ波合成開口レーダの画像データに対して、図2に示す処理を行った。



3-2. 光学センサデータ

光学センサを搭載した衛星として、LANDS AT-5、SPOT-2による熱赤外、近赤外、 可視画像データの解析を、衛星マイクロ波合成開 ロレーダの画像データの解析と併せて行った。

なお、図3に示す処理を行ったが、御神渡りを 抽出することが目的であるため、大気補正および 温度への校正は行わなかった。



4. マイクロ波散乱機構

4-1. 湖氷からのマイクロ波散乱機構

マイクロ波の散乱体の性質は、複素誘電率で表現される。虚数部の値が大きくなる程、マイクロ波の損失が大きくなり、物体へのマイクロ波の侵入深さは小さくなる。また、物体の誘電率の不連続な境界において散乱が発生する。

冬期間、屈斜路湖は雪で覆われることから、湖

氷におけるマイクロ波の散乱は、積雪におけるマイクロ波の散乱を含めると、積雪、氷、水の層構造で考えることができる。この湖は淡水湖であり、湖氷の塩分濃度は純氷とほぼ同じ 0 p p t であり、氷によるマイクロ波の損失はほとんど無い。淡水湖の氷におけるマイクロ波の侵入の深さは、Cバンドで16.2 m、Lバンドでは133.8 mと計算された。また、冬期間における気温が湖氷の結氷温度よりも低いことを考慮すると、積雪からの後方散乱は無視できるものと考えられる。図4に氷からのマイクロ波散乱を示す。

■マイクロ波散乱体の性質を誘電率で表現

虚数部が大きいほど、マイクロ波の 損失が大きくなる も マイクロ波の使入環さが小さくなる

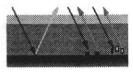
■氷の内層に不連続部分がなければ、 氷/水境界からの散乱の寄与が大

ε w > ε

さらに氷/水境界のラフネスの有無 により、散乱強度に変化

ラフネス 大 (小) →散乱 大 (小)

■氷の内層に不連続部分(気泡など)があれば、その部分における散乱の客与が大



ラフネス無 ラフネス有 気泡有

図4 湖氷からのマイクロ波散乱

4-2. 屈斜路湖におけるマイクロ波散乱機構

屈斜路湖におけるマイクロ波の散乱機構は、図5に示す4つに分類できると考えられる。

氷底面が平坦な場合は、氷/水境界からの鏡面 散乱が発生し、後方散乱としてはほとんどない。

氷底面に粗度が存在する場合は、氷底面からの 表面散乱が発生する。この表面散乱は、粗度が大 きくなるに連れて大きくなる。しかし、屈斜路湖 における氷底面は、比較的滑らかであるとの観測 報告があり、氷底面からの表面散乱は寄与しない ものと考えられる。

氷内層に気泡が存在する場合は、気泡からの体 積散乱が発生する。気泡の密度が大きくなるにつ れて、体積散乱も大きくなり、後方散乱としても 大きくなる。

御神渡りが存在する場合、御神渡りの発生場所 における表面散乱および体積散乱が発生するが、 表面散乱が支配的であると考えられる。

図5 屈斜路湖のマイクロ波散乱機構

5. 御神渡りの分布の検出

衛星マイクロ波合成開口レーダのデータを使用した、御神渡りの分布の検出は次のように考えられる。湖において御神渡りが発生した場所では、マイクロ波が湖氷表面付近の御神渡りの場所で散乱し、御神渡りのラフネスによる後方散乱が支配的であると考えられる。このことから、御神渡りが発生した場所では後方散乱が大きくなり、御とで明るく映る。また、御神渡りが一度でも過去に発生すれば、その場所が再凍結などを繰り返す内に、表面上では平坦でも内部構造は複雑化したものになると考えられる。したがって、御神渡りが発生した場所では、湖氷の内層に不連続な層が形成されることになり、マイクロ波が散乱して、過去に発生した御神渡りを、ある程度時間が経ってからでも検知することが期待できる。

一方、光学センサのデータを使用した、御神渡りの分布の検出は次のように考えられる。光学センサのデータは、物体からの放射、太陽光による反射を見ている。したがって、光学センサのデータは、主に表面の情報を得ることしかできず、マイクロ波領域を観測できるマイクロ波合成開口レーダのように、湖氷の内層情報を得ることができない。御神渡りが発生して間もない時など、積雪表面にも影響が及ぼされた場合には、光学センサでも御神渡りを検知することができる。しかし、近赤外や熱赤外データを使用することで御神渡りを検知する方法も考えられるが、基本的には、

湖上表面に御神渡りの影響が現れていない場合 の検知は不可能であると考えられる。

6. 解析結果

1996年と1998年の2月に取得された 光学センサおよびマイクロ波合成開口レーダの 画像データを解析、比較を行った。

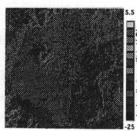
1996年の比較対象データは、光学センサデータがSPOT-2、マイクロ波合成開口レーダデータがJERS-1を使用し、1998年の比較対象データは、光学センサデータがLANDSAT-5、マイクロ波合成開口レーダデータがRADARSATを使用した。

6-1.1996年データの解析結果

SPOT-2の画像からは、御神渡りと見られる表面構造を確認することができる。画像データ取得日は晴れていたため、湖上のほぼ全域を観測することができたが、光学センサデータは、雲が存在する場合は、雲を見てしまい、その下を観測することができない。

JERS-1の画像からは、御神渡りと見られる表面構造を確認することができなかった。これは、観測波長がLバンドで、入射角およびマイクロ波の侵入深さが大きいことが起因していると考えられる。マイクロ波合成開口レーダデータは、雲の有無に関係なくデータを取得することができる。1996年の画像解析結果を図6に示す。





SPOT-2/HRV 334_262 1996/02/17

JERS-1/SAR 60_227 1996/02/23

図6 1996年の画像データ比較

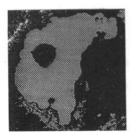
6-2 1998年データの解析結果

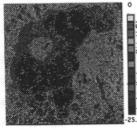
LANDSAT-5の画像からは、御神渡りと 見られる表面構造を確認することができる。

しかし、御神渡りをあまり明確に確認することができないのは、LANDSAT-5の地上分解能が30mであり、SPOT-2の地上分解能が20mに比べて劣ること、可視領域である赤・青色バンド(バンド3・1)が飽和したことが起因していると考えられる。なお、この画像は画像全体が明るく、御神渡りを検知することが困難であると判断し、緑色バンド(バンド2)のみを使用した。1998年の画像解析結果を図7に示す。

RADARSATの画像からは、御神渡りと見られる表面構造を確認することができた。

このことを、RADARSATの画像と地上で 御神渡りを撮影した写真とを比較すると、図8の ように、御神渡りの発生場所において、よく一致 することが確認できた。





LANDSAT-5/TM 106_30 1998/02/21

RADARSAT/SGF 1998/02/24 (C) CSA

図7 1998年の画像データ比較

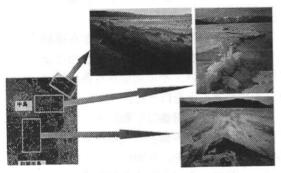


図8 衛星画像と地上写真の比較

7. まとめ

光学センサおよびマイクロ波合成開口レーダ データから、御神渡りの抽出を行った。

光学センサでは、湖が雲や積雪で覆われた場合、 その下にある情報を検知することはできないが、 マイクロ波合成閉口レーダからは、その情報を検 知することが可能である。

屈斜路湖では積雪からの散乱は無視でき、氷/ 水境界もしくは氷底面の気泡からの散乱が支配 的であると考えられる。

以上のことを考慮し、CバンドSARによる御神渡り検知の可能性を示した。

8. 今後の展望

今回は、御神渡りの地上検証として、衛星画像と地上写真による比較を行った。今後は、御神渡り発生場所においてGPSを使用して、衛星画像と御神渡りの発生場所との同定を行う。これに併せて、氷厚観測やコア解析を行うことで、御神渡りおよび氷厚分布を地上検証から確認し、衛星画像データの正当性を検証する。

また、マイクロ波合成開口レーダの性質上、誘電率の影響を受けることから、雪・氷の温度を地上検証で観測し、さらに、光学センサデータからも温度を抽出し、マイクロ波合成開口レーダと観測対象物の関係を明確にし、御神渡り検知および 氷厚分布推定の高精度化を図る方針である。

さらに、マイクロ波合成開口レーダによる連続 的な湖氷観測から、御神渡り検知および氷厚分布 を調べる手法の確立を目指している。

9. 画像の提供元

使用した衛星画像提供元は以下の通りである。 JERS-1、SPOT-2、LANDSAT-5画像は、宇宙開発事業団から提供を受けた。 RADARSAT画像は、CSAのスポンサー によりADROプロジェクトから提供を受けた。