
報 告

海氷自動解析システムの開発について（第 2 部） ひまわり 8 号データを用いた海氷自動解析システムの開発

赤坂 有史¹・竹内 綾子¹・浜田 啓次¹・小野田 浩克¹・
菅野 能明¹・中川 憲一²・岡田 良平³

要 旨

海洋気象情報室では、オホーツク海とその周辺海域を対象とした海氷解析における客観的な解析手法の導入に取り組んでいる。2015 年 7 月に静止気象衛星ひまわり 8 号が運用を開始したことから、この観測データの特性を利用した海氷自動解析システムを新たに開発し、2015/2016 海氷シーズンから現業運用を開始した。本稿では、第 1 部で示した課題をどのように改善し、自動解析システムを導入したかを示す。

ただし、同シーズンに導入した自動解析システムでは主観的な手作業の要素を排除するには至っていない。そのため、今後の海氷解析業務の自動解析化に向けた改善策・開発の方向性等についても最後に記す。

1. はじめに

海洋気象情報室では、従来からオホーツク海とその周辺海域を対象とした海氷解析において、その自動化や客観解析を目指した試みが幾度となく行われてきた。第 1 部では、これまでの開発結果を若干改善した上で、2014/2015 海氷シーズンにおいて実施した海氷自動解析の試行の結果について報告した。試行では、

- ・低密接度の海氷域が検出されにくい
- ・雲による不明領域近くの海氷密接度が正しく解析されない
- ・ノイズ等による誤解析を適切に除去できない
- ・このため、解析者による修正作業に多くの時間を要する懸念がある

といった課題が判明した。また、アルゴリズムの特性として、

- ・衛星ごとの解析の違いを適切に判断できない
- ・海氷判別処理におけるしきい値の決定手法に起因する値の不確実性により、シーズンを通した解析精度に疑問

といった課題が解決されずに残っており、そのまま自動解析を導入するには至らなかった。

課題の背景要因として最も大きいのは観測データの不足である。そのような中、2015 年 7 月に運用を開始した静止気象衛星ひまわり 8 号では、オホーツク海の衛星観測データを 10 分に 1 回の頻度で入手できるようになった。これら膨大な観測データは自動解析における大幅な精度向上に資

¹ 地球環境・海洋部海洋気象課海洋気象情報室

² 地球環境・海洋部海洋気象課海洋気象情報室（現仙台管区气象台気象防災部地球環境・海洋課）

³ 地球環境・海洋部海洋気象課海洋気象情報室（現福岡管区气象台気象防災部）

（平成 29 年 3 月 28 日発行）

することが期待される。

海洋気象情報室では、ひまわり 8 号のデータを速やかに活用すべく、平成 27 年度 (2015 年度) の開発において海氷自動解析のアルゴリズムを全面的に見直した。その結果、海氷自動解析システムの現業運用を 2015/2016 海氷シーズンから開始することができた。

以下、これらの開発状況について報告する。第 2 章では、海氷自動解析システムの利用データと解析図の構成について概説する。第 3 章では、このうち、平成 27 年度に開発を行ったひまわり 8 号データによる海氷自動解析について、主に 2014/2015 海氷シーズンにおける試行との違いを中心に述べる。第 4 章では 2015/2016 海氷シーズンにおける解析事例の紹介、第 5 章では現在判明している問題点及び今後の課題について述べる。

2. 利用データと解析図の構成

2.1 利用衛星とデータ

新たに利用を開始したひまわり 8 号のデータは、気象衛星センターにて解像度や階調が調整されたもので、解析対象領域は従来と同じく、オホーツク海、日本海、黄海・渤海、ベーリング海と太平洋の一部を切り出したものである。諸元は第 1 表の通り。

ただし、衛星による可視、近赤外の観測は、対象への太陽光の入射角が小さいと、太陽が天頂方向にある場合に比べて暗い画像となる。オホーツク海とその周辺海域は比較的高緯度帯にあり、また、一日のうちでも、明け方や夕方など、太陽高度の低い時間帯は太陽光が斜めにあたることによる影響が及ぶ。このため、観測時刻ごとに、それ

第 1 表 ひまわり 8 号観測による海氷解析用画像諸元

データ形式	独自形式 (raw) ファイル
対象バンド	3(0.64 μ m), 4(0.86 μ m), 5(1.6 μ m) 括弧内は中心波長
作成領域	オホーツク海、日本海、黄海・渤海、 ベーリング海と太平洋の一部
投影方式	ポーラステレオ
格子数	2,048 × 2,048
階調	256階調
提供頻度	10分間隔

ぞれの格子での反射率・輝度温度を補正 (以下、太陽天頂角補正) したデータの提供を受けている。

ひまわり 8 号以外の観測データは、2014/2015 海氷シーズンにおける試行と同様である。参考までに利用したデータを以下で述べる。

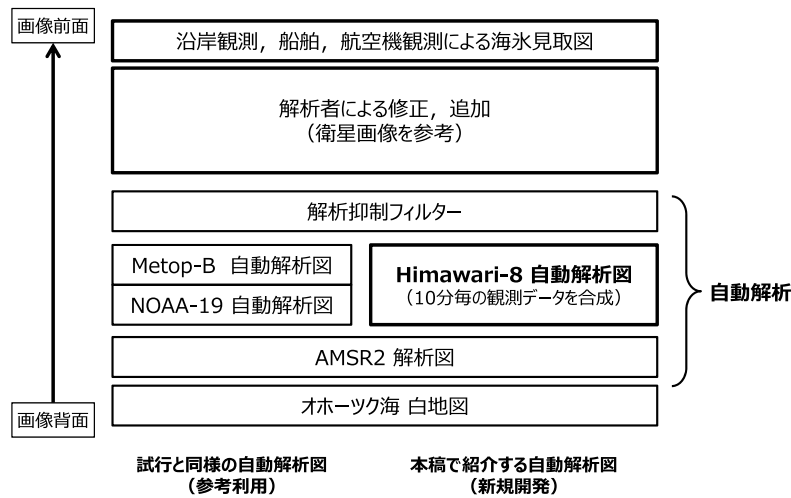
衛星による観測データは、水循環観測衛星 GCOM-W1 搭載の高性能マイクロ波放射計 2 (AMSR2) によるものを利用している。これについては、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) から、輝度温度データから作成された海氷密接度プロダクト (L2SIC) の提供を受けており、これに座標変換と平滑化を行い、解析図を作成している。AMSR2 は物体が放射する微弱な信号を計測するため、雲域下の海氷の分布についても観測を行うことができる一方で、分解能が低く、薄氷域や低密接度の海氷分布が解析され難い、また、陸地近くでは擬似海氷が解析される場合がある等、データの利用に注意を要する。

極軌道衛星 NOAA-19, Metop-B による観測データも引き続き利用し、衛星画像と 2014/2015 海氷シーズンの試行と同様のシステムにより自動解析図を作成している。これは解析者の実況把握のための参考利用及び障害等によりひまわり 8 号のデータが入手できない場合に備えたもので、これにより安定した現業システムを構築している。

衛星以外のデータとしては、航空機や船舶、沿岸からの目視観測結果を利用している。これらは、現地官署からの通報や、協力いただいている海上保安庁第一管区海上保安本部や防衛省 (海上自衛隊、陸上自衛隊) から提供された海氷見取図を基に、解析者が手作業で解析図に反映させている。

2.2 海氷解析図の構成イメージ

解析図の構成イメージは第 1 図の通りである。取得した各衛星のデータから、海氷自動解析システムにより自動解析図を作成している。一部の補正処理を除き、解析図は衛星ごとに作成し、ひまわり 8 号による解析図を優先利用した。すなわち、ひまわり 8 号による自動解析図の不明領域にのみ、AMSR2 による解析結果が入り、ひまわり 8 号で観測できない雲域下の情報を補っている。この合成した解析図に対して、解析抑制フィ



第 1 図 海氷解析図の構成イメージ

ルターをかけ、ノイズや誤解析により、海氷が存在しないと推定される領域で海氷を解析するのを防止している。なお、解析抑制フィルターは、2014/2015 海氷シーズンの試行時と同様、該当期間におけるオホーツク海での平年の海氷出現率が正の領域に直前の速報解析図、前日の解析図における海水域を足し合わせた領域、及びその縁辺格子にのみ海氷が存在し得ると推定し、それ以外の領域の海氷を不明に置き換えるものである。

3. ひまわり 8 号を利用した海氷自動解析の開発

3.1 利用衛星による特性の違い

第 1 部で述べた通り、従来の現業解析及び従来の自動解析における海氷解析処理では、海氷の判別には主に極軌道衛星による観測データを利用しており、2014/2015 海氷シーズンにおける試行では米国の極軌道衛星 NOAA-19 及び欧州の Metop-B を利用した。これは、同時期に運用していたひまわり 6・7 号が、可視光・近赤外域に 1 つのセンサーしか搭載していなかったのに対し、これら極軌道衛星は複数のセンサーを搭載しており、従来の現業解析では、この各バンドの観測データを RGB 合成した画像を用いて、解析者が主観的に海氷判別を行うことが可能であった。従来の自動解析における海氷解析処理ではこの経験的な判別を援用し、事前調査で過去の特徴的な事例

から反射率・輝度温度データのしきい値を決定し、この値を用いて海氷、氷なし（以下、海と記述）、雲の判別を行っており、2014/2015 海氷シーズンにおける試行においても、同種のアルゴリズムを採用している。

一方で、極軌道衛星による対象領域の観測は一日 2 回であり、このうち海氷判別に利用できるのは昼軌道の 1 回だけとなる。オホーツク海は雲に覆われることが多く、これら衛星が搭載している可視光、赤外センサーでは雲の下の状況を観測することができない。このため、観測時刻に対象領域が雲に覆われていた場合、該当領域の解析結果は「不明」となる。また、極軌道の周回により撮像角度が日々変動し、毎日の解析に利用する画像データは位置ずれやこれによる反射率・輝度温度データへの影響が非常に大きい。その他にも、自動解析において海氷判別に用いるしきい値が前述の通りの手法にて値を決定したもので、観測時刻の違いや季節変動による違いに容易に追従できないといった問題点もあり、シーズンを通した解析精度への信頼は十分でなかった。

2015 年 7 月に運用を開始したひまわり 8 号は静止軌道衛星であり、極軌道衛星と比べ撮像角度の違いは非常に小さく、気象衛星センターからは、画像の位置ずれや太陽天頂角による影響などを補正したデータの提供を受けている。また、ひまわ

り8号は極軌道衛星 NOAA-19 や Metop-B で利用していたバンド帯を含む多くの観測バンドを備えており、観測頻度も10分に1回と大幅に増加した。特に、観測頻度の増加は多大な恩恵が期待できる。例えば、ある観測時刻における不明領域が、時間の経過で解析できるようになり、たとえ大部分が雲に覆われた不明領域で、僅かに一部のみがその隙間から解析できるような状況であっても、その他の観測時刻の雲が移動した複数の解析を重ね合わせることで、広い範囲の状況が把握できるようになる。

3.2 海水解析アルゴリズム

第1部及び第3.1節で述べた通り、従来の自動解析における海水判別アルゴリズムでは、特徴的な幾つかの事例から判別のしきい値を事前決定していた。この手法には、少なくとも数シーズンの事例検証が必要となる。ひまわり8号の正式運用開始は7月で、オホーツク海には海水は存在しておらず、調査に着手するには、長期にわたりデータの蓄積を待つ必要があった。

しかし、前節で述べたように、ひまわり8号ではこれまでとは比較にならない程膨大な観測データが利用可能となった。これにより、当面、たとえ簡素なアルゴリズムであっても、この膨大なデータ入力により、従来よりも精度が向上する可能性が高いと判断した。このため、事前調査を必要としないような解析アルゴリズムを新たに開発することにした。

また、実際、この膨大な観測データから、それぞれ海水判別のしきい値を観測時刻ごとに決定するのは現実的には難しい。加えて、解析品質のばらつきを抑えるためには、そもそもしきい値の決定手法に起因する値の不確実性を排し、より客観的な解析手法に近づける必要がある。なお、ひまわり8号の観測データが蓄積され、その特性について十分な知見を得られた後には、より高度な解析アルゴリズムを構築し、解析手法を高度化することが望まれる。

これらを踏まえ、ひまわり8号の観測データを用いた海水自動解析システムでは、従来の解析アルゴリズムを変更し、衛星観測データと海水密接

度解析の関係を直接、テーブルで変換することにした。膨大な観測データを入力することにより、従来からの自動解析で用いていた条件分岐に比べ、より一般性を獲得することが期待される。

すなわち、海水密接度状態に対して、衛星データ β_L は、ある観測時刻、各格子点において、

$$\beta_L \propto \theta \cdot R \cdot A \cdot O \cdot C \quad \dots (1)$$

C は海水密接度状態

O は日変動、季節変動

A は観測時刻における大気状態による変動

R はセンサー特性

θ は256階調への階段関数変換

とさまざまな演算子が作用したものであるが、 O のうち、太陽と天頂の関係に起因する時間依存性は太陽天頂角補正によって大幅に抑制される。また、 A の大気による散乱の影響は、急激な変動はないと仮定(第5.1節にて補足)する。これにより、観測時刻における衛星データと海水密接度の関係式は、弱い時間依存性のみを残し、

$$C(t) \approx T(t) \cdot \beta_L(t) \quad \dots (2)$$

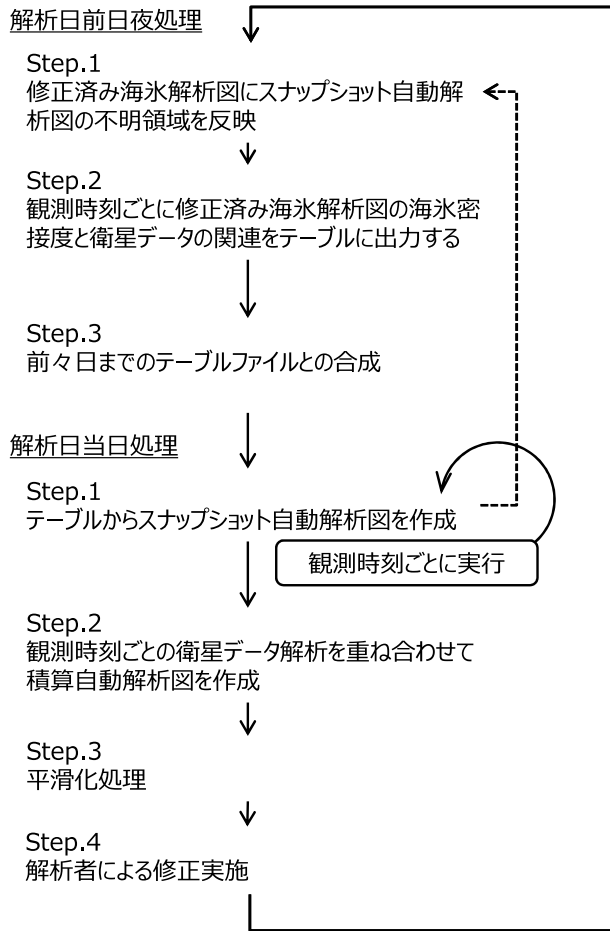
と書け、適切なテーブル $T(t)$ で変換することができる。また、1日の対象観測時間内において海水の状態は大きく変化せず、海水密接度に変動がないと仮定すると

$$C \approx T(t) \cdot \beta_L(t) \quad \dots (3)$$

となり、複数の観測時刻の結果を集めることで、格子点の海水解析の信頼度を高めることが可能である。処理の流れは第2図となり、次節以降、各項目について具体的に述べる。

3.2.1 解析日の前日夜における処理

海水解析を行う変換テーブルは、事前に衛星データと解析図と比較することで作成する。しかし、前節までで述べたような過去シーズンの事例調査によらない処理系においては、解析日に参照することができる精度の高い解析図は、前日までに解



第 2 図 海氷解析の処理の流れ

析者が修正した修正済み解析図（あるいは自動解析を用いず、全域を従来の現業解析手法で解析した解析図）である。より精度の高い変換テーブルの構築に、衛星データと解析の対応関係を解析日ごとに更新する。すなわち、解析日の前日夜において、その日の修正済み解析図（あるいは自動解析を用いず、全域を従来の現業解析手法で解析した解析図）が存在する場合、これを手本とし、衛星データと海氷密接度の関係を蓄積する。取得、作成しているデータは、その日の

- ・各観測時刻の衛星データ
- ・各観測時刻の自動解析図（以下、スナップショット自動解析図）
- ・全観測時刻を合成した自動解析図（以下、積算自動解析図）
- ・積算自動解析図から解析者が修正した修正済

み海氷解析図（あるいは自動解析を用いず、全域を従来の現業解析手法で解析した解析図）

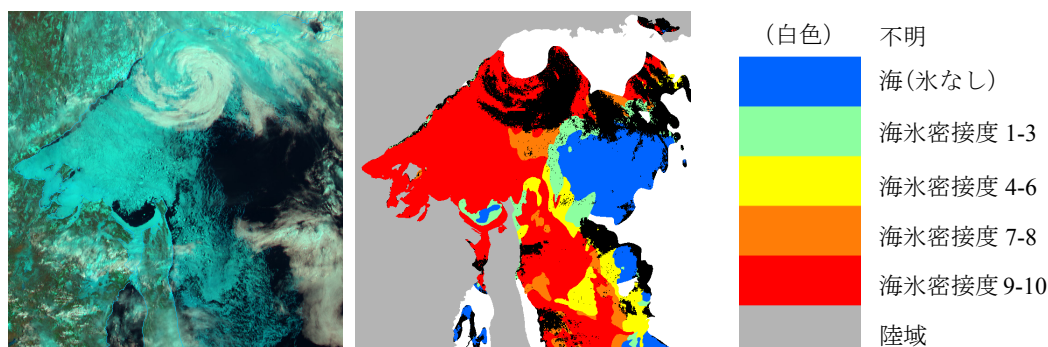
である。解析日の前日夜には、それぞれの観測時刻について、第 2 図の処理を順次行い、衛星データと海氷密接度を関連付けるテーブルファイルを更新する。以下、第 2 図で示した解析日前日夜処理の Step.1 から Step.3 について、順に解説する。

Step.1：雲域を除去するため、修正済み海氷解析図にスナップショット自動解析図の不明領域を反映する

修正済み海氷解析図を手本とする場合、最終的に確定した解析図は各観測時刻におけるデータをすべて合成したものである。このため、時間の経過で雲が動き、ある観測時刻において不明であったものが、後の観測により海氷や海を解析している場合がある。ある観測時刻における衛星データと海氷密接度の関係を調査するには、その観測時刻における雲域が、修正済み海氷解析図における海氷や海ではなく、正しく不明として扱うようにする必要がある。10 分ごとのスナップショット自動解析図における不明領域は、その時刻における雲域等による不明とすべき領域をほぼ正しく判別していると推定し、各観測時刻において、スナップショット自動解析図で不明の領域を、修正済み海氷解析図でも不明に置き換える（第 3 図）。

Step.2：各観測時刻の修正済み海氷解析図の密接度と衛星データの関連をテーブルに出力する

上記処理を行った修正済み海氷解析図において、格子点ごとに密接度とその時刻のひまわり 8 号による反射率、輝度温度データの関係を調べる。入力データとして利用するひまわり 8 号のバンドは、サンプルデータにおいて、より海氷判別に適していると思われたバンド 3,4,5 の組み合わせを利用した。この組み合わせで衛星データと海氷密接度、海、不明域の対応をあらわしたテーブルを作成する。ただし、今シーズンの開発の段階では、テーブルの作成に機械学習を組み込むといった高度な処理は構築していない。格子ごとに衛星データと解析の対応事例をすべて数え上げ、そ



ひまわり 8号による衛星画像 0030UTC の雲域を除去した解析図
(2016/4/5 0030UTC) (テーブル作成に参照する)

第3図 解析図から雲域の除去

図はオホーツク海北部を拡大したもの。(左) 2016年4月5日0030UTCのひまわり8号による衛星画像, バンド5,4,3をRGB合成。白色が雲, 海水は水色, 暗色は海。(中央) 確定した解析図(この例では自動解析を用いず, 全域を従来の現業解析手法で解析した解析図)の解析済み(不明以外)の領域から, 0030UTCの雲域を取り除いたもの。図中の黒色が除外された領域。なお, 雲域は同時刻のスナップショット自動解析図の不明領域から推定する。(右) 海水密接度を表す配色, 世界気象機関(WMO)標準に準拠(以下同様)。

の事例数(以下, イベント数)をそのままテーブルに格納している。このように, アルゴリズムとしては現象の背景に潜むであろう複雑さを考慮しない, ナイーブな方式に留めた。具体的な作業としては, 対象領域における全格子点について対応を数え上げ, 例えば, ある観測時刻における, ひまわり8号データが, バンド3,4,5の組み合わせで, (B03, B04, B05) = (192, 222, 23)であったとき, 密接度9-10であった格子が5点, 密接度7-8が2点, 密接度4-6が1点, 密接度1-3が1点, 海が3点, 不明が4点であった場合, この格子点数をテーブルにそのまま格納する(第4図)。これら解析の分散は, 手本としている解析図は, 既に解析者による修正で丸められたものであること, また, 一日のうちで海氷が移動することにより, 特に海氷縁付近や海氷が散在している状況では, 観測時刻における衛星データに対して, 格子点ごとに一対一で対応する解析図ではないことに起因する。この結果では, 分散の偏りから, もっとも確からしい海水密接度は9-10であると思われるが, この時点では密接度を一意に決定することは行わず, 不確実性を残したままデータ蓄積を行う(理由は後述)。

第1部でも述べたように, オホーツク海の解析では, 海格子数が海氷格子数に比べて圧倒的に多くなりやすい。テーブルは, イベント数により構築されるため, イベントが極端に海事例に偏っていると, 海氷が検出されなくなるおそれがある。このため, テーブルファイルは, 海氷が存在すると推定される領域と, それ以外で分割して作成することとした。また, 入力データは気象衛星センターにより太陽天頂角の補正が行われているが, 除外しきれていない特性を取り除くため, 海氷の検出対象領域を分割した。オホーツク海中・南部及びオホーツク海北部でそれぞれ海氷が存在すると推定される領域とそれ以外, カムチャツカ半島東海域, 並びに黄海・渤海の5領域, それぞれの領域でテーブルファイルを作成している(第5図)。

Step.3: 前々日までのテーブルファイルとの合成
作成したテーブルを, 観測時刻ごとに前々日までのテーブルファイルと合成し, 解析日(翌日)の自動解析に用いるテーブルファイルとして出力する。これにより, 処理日(解析日前日)が広範囲に雲に覆われて海氷の状況について情報が得ら

観測時刻ごと



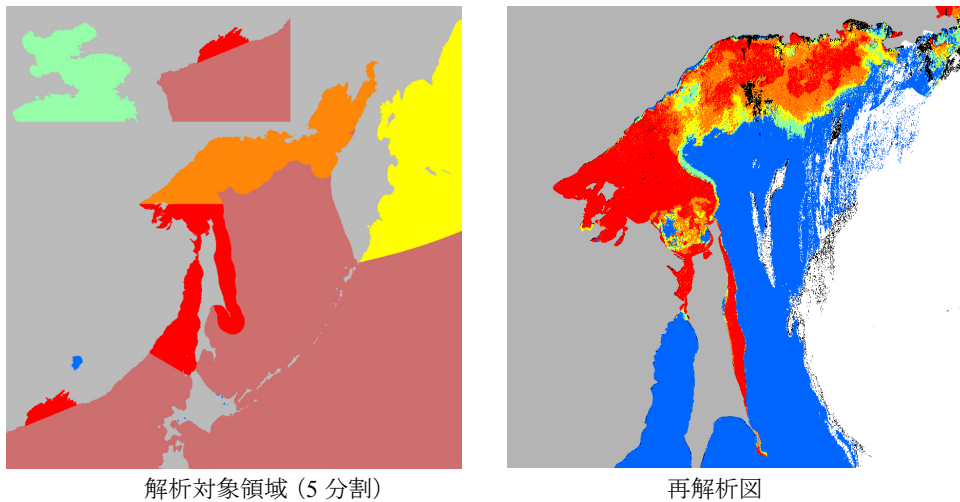
ある格子点 : (192, 222, 23) → 密接度 9-10 → ●

領域で集計 : (192, 222, 23) → ●●●●●●●●●●○○○○○

	9-10	7-8	4-6	1-2	海	不明
(0, 0, 0)	...	...	...	...	...	...
(0, 0, 1)	...	...	...	...	...	...
(192, 222, 23)	5	2	1	1	3	4
(255, 255, 255)	...	...	...	...	...	...

第4図 対応テーブルの構築

衛星データと密接度の関係を対象領域の全格子点について数え上げ、観測時刻ごとに対応テーブルを作成する。



第5図 海水検出領域と同日の再解析図

左は2016年5月6日の海水検出対象領域。オホーツク海北部(橙色), 中・南部(赤色)は、直近の解析と速報解析図から海水が存在する推定される領域とそれ以外に分割している。参考として、右は作成された同日 0300UTC のテーブルのみで、同時刻のひまわり8号の画像データを再解析したもの(オホーツク海北部を拡大)。海水域が適切に解析できるテーブルが作成されていることが確認できる。

れなかった場合や、エーロゾル等による影響で大気の状態等に極端な変動があった場合に、これらの影響を均すことが期待される。なお、ある観測時刻の衛星データと密接度の関係は、厳密には、公転軌道等による影響を受けるため、処理日前日の同時刻における関係とは僅かに異なる。しかし、その変動は日変動に比べ十分小さい。テーブルファイルの作成は観測時刻ごとに合成し、処理日前日までのイベント数に一定の減衰をかけることで、季節変動に追従させている。

3.2.2 解析日当日の処理

解析日当日は、前日夜に更新した変換テーブルを利用して、自動解析図を作成する。第2図で示した解析日当日の Step.1 から Step.4 について順に解説する。

Step.1 : スナップショット自動解析図を作成

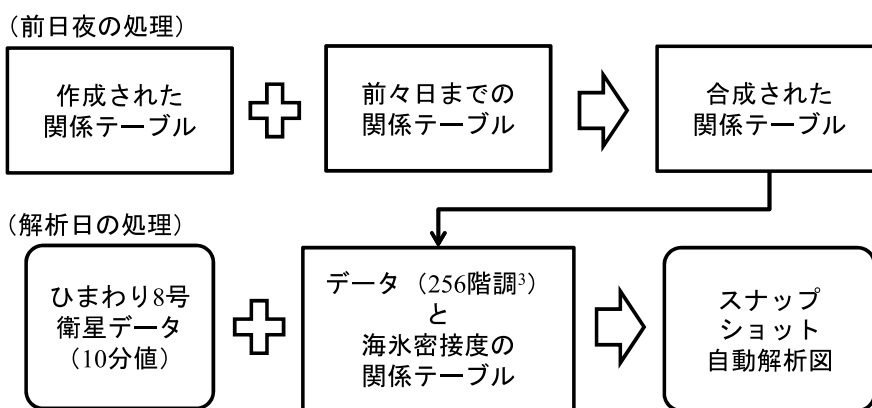
前日夜に作成、更新した観測時刻ごとのテーブルを用いて、衛星観測による反射率、輝度温度データの組み合わせから海氷密接度を推定し、スナップショット自動解析図を作成する。密接度の推

定は、前日夜に行ったテーブルファイルの構築と逆処理で、即ち、先の例の通り、ある観測時刻における、入力データが (B03, B04, B05) = (192, 222, 23) であるならば、もっとも確からしい海氷密接度を 9-10 と推定する (第6図)。これらの処理を対象である全格子点に適用したものを、その時刻によるスナップショット自動解析図とする。

海氷密接度の算出方法は旧来の処理と大きく異なる。今回のひまわり8号データを用いた海氷自動解析システムにおいては、入力データから海氷密接度を直接推定する方式に変更した。海氷密接度とは、「氷に覆われている海面の占める割合」である。旧来の田口・松本 (2000) アルゴリズム及びこれを利用した近澤 (Chikasawa *et al.*, 2010) の方式では、より定義に近く、まず、衛星データから海氷、海、雲域 (不明領域) の判別のみを行い、次に、周辺正方格子における海氷、海の比率から密接度を算出していた。しかし、この方法により作成した解析図は以下の問題が顕著である。

まず、旧来の方式では、密接度 9-10 の領域が海と隣接しているような状況であっても、密接度 9-10 の領域の外側の海域に低密接度の海氷域を

観測時刻ごと



ある格子点 : (192, 222, 23) → ●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●
 → ● 密接度 9-10

第6図 スナップショット自動解析図の作成

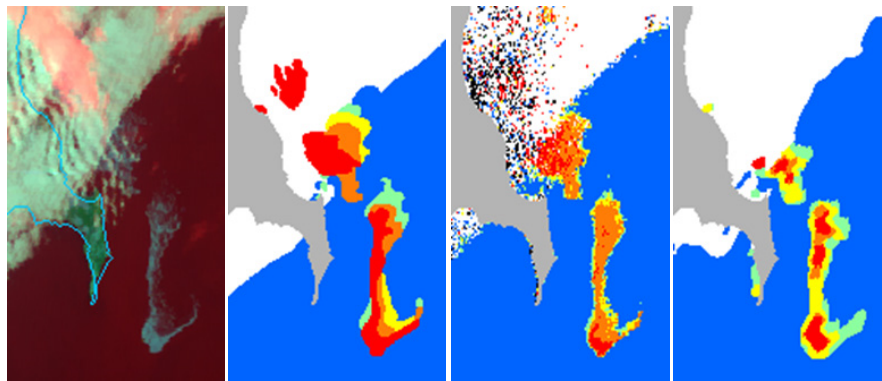
密接度は、最も確からしい、つまり最多である解析を選ぶ。ただし、先に密接度を足し合わせた海氷、海、不明の判別を行うことで、海優勢と誤解析されることを防ぐ。

解析するため、そのままではエッジのたった解析図が作成できない(第7図上段右)。密接度の定義に算出領域の大きさは決めていないが、防災情報の性質上、より特徴を捉えた解析図を作成する方が適切である。また、海氷縁付近で常に海領域を低密接度の海氷域として扱うバイアスが存在することになるため、気候監視を目的とした海氷域面積においても、これらの影響は無視できない。

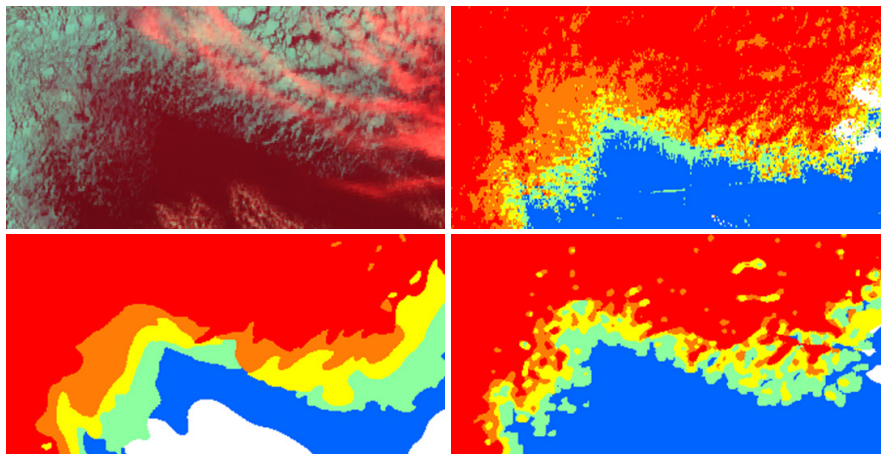
次に、旧来の方式では、解析対象の周辺格子に不明領域がなく、すべての格子が解析できている

場合に、初めて正しい密接度が計算可能となる。このため、雲に覆われ不明となることが多いオホーツク海での現業的な解析には適しておらず、特に雲の隙間から僅かに見える海氷については正しい密接度を決定できない可能性が高い。

一方、今回変更した方式では、格子点1点ごとに海氷密接度を推定する。実際、海氷解析図において格子が代表するスケールは数キロメートル規模であるため、入力衛星観測値は、その周辺の海氷密接度を十分に反映していると期待して良い。



2015年4月10日のアニワ岬東方の海氷域、図は左から衛星画像、従来の現業解析手法による解析、ひまわり8号による海氷自動解析システム(平滑化なし)、旧来の自動解析処理(2014/2015海氷シーズンにて試行)の順。旧来の自動解析処理では海氷縁で常に低密接度を解析し、従来の現業解析手法による解析と密接度分布の印象が異なる。



同日のオホーツク海北部の海氷縁の解析。先と同じで左上、左下、右上、右下の順。同じく旧来の自動解析処理では海氷縁のエッジがぼやけた解析となる。一方、ひまわり8号による海氷自動解析システムによる出力では、描画が細か過ぎる傾向があり、一般に平滑化処理が必要となる。

第7図 アルゴリズムの違いによる解析の比較

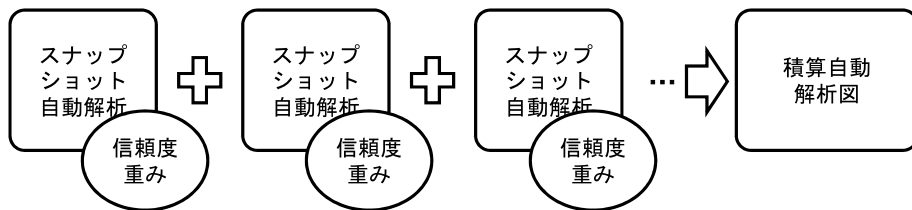
Step.2：解析を重ね合わせて積算自動解析図を作成

極軌道衛星による観測頻度は一日1回の昼軌道のみと少ない。旧来の複数の自動解析結果の合成は、海氷は対象時間内で動かないとの仮定の下、単純に、経験的に信頼度の高い衛星の解析図を上から順番に重ねるような処理であった。すなわち、Metop-Bによる海氷検出が最優先（最前面）で、次にNOAA-19による検出を合成し、密接度解析を行う。また、この不明の領域に解像度の低いAMSR2による解析を入れる。

一方、ひまわり8号による観測は10分ごとに行い、観測時刻ごとに前節のスナップショット自動解析図を作成することができる。しかし、このスナップショット自動解析図を、極軌道衛星による解析と同様、観測時刻順に上書きするのでは、不明領域は減少するものの、解析精度の向上は望めない。何故なら、高頻度の観測ではそれぞれの観測が一日のうちの大気の状態の時間変化を反映するため、例えば、薄雲に覆われてははっきり判別できなかった海氷の状況が、次第に雲が晴れることで、判別できるようになった、あるいはその逆、又は、ごく短時間のみ、海氷の状況がはっきり見

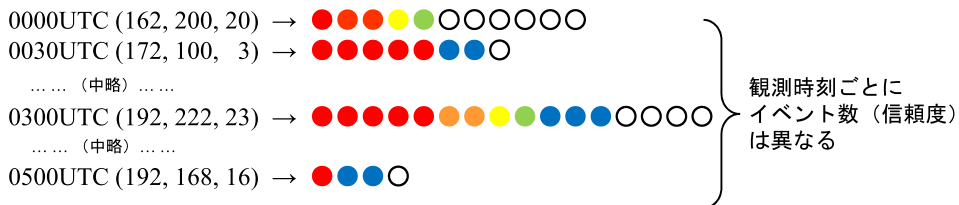
えた、見えなかったといった変化を伴う。この観測結果を参照又は利用する自動解析では、必然的に観測時刻ごとの解析の信頼性が異なるため、合成の順番を一意に定めるのは適切でなく、信頼度に応じた重みを付けて行わなければならない。

前節の通り、スナップショット自動解析図の密接度の推定は、前日までの解析結果から作成した対応テーブルにおける最も確からしい、すなわち最多である解析を選び、海氷密接度の推定としている。ここで、この観測時刻の解析の信頼度は、このとき利用したテーブルを構成するイベント総数である、としても概ね問題ないだろう。これがテーブル作成時に、不確実性を残したままデータ蓄積を行っている理由である。積算自動解析図の作成では、まず、各観測時刻における解析を一つに定めず、密接度別、海、不明のそれぞれの可能性を含んだ「状態」を出力用バイナリに格納する。次に、別の観測時刻についても同様、それぞれの状態を足し合わせる。対象観測時刻すべてについて、同様に足し合わせ、最終的に積算解析図を出力する段階で初めて、最も確からしい、つまり最多である解析を選ぶこととする（具体例を第8図に示す）。



ある格子点

観測時刻ごとに解析： → 観測時刻ごとの解析の違い



集計し、密接度を決定： → 密接度 9-10



第 8 図 積算自動解析図の作成

すなわち、我々が事物を価値判断する際に、明示的な分岐ツリーの経路上に位置するがごとくに、常に確定的に他の状態を排除しているのではなく、ある種の不確定性を保持したまま判断を繰り返す、その状態の偏りから最終的な決断を行う。これと同様に、出力用バイナリに格納されている格子点の状態は確率的で定まらず、また、その確率は時間経過に伴ってある状態から別の状態に染み出しているが、可視化の際に初めて一に収束すると解釈する。

このアルゴリズムの採用により、各観測時刻では信頼度の低い解析であっても観測・解析頻度を増やすことで、次第に信頼性が強化されることになる。また、相応に信頼度の高い解析の寄与は、その他の観測時刻による不確実な解析すべてを上回ることになるが、逆に、比較的信頼度の高い解析であっても、より信頼度の低い解析の大多数が異なる解析を行った場合、そちらの解析が優位となる場合もあり得る。別の見方をすれば、旧来の解析では判断に迷う雲か海氷かの判別に、別観測時刻から類推した「雲の動き」を利用していたのに対して、いわばオイラー的な視点で、雲、海氷の判別を行っていることになり、高頻度観測によるメリットを生かすことが期待される。

なお、ここでも、海氷は対象時間内で動かないとの仮定は継続している。また、スナップショット自動解析図は、図そのものを合成処理に用いず、解析の参考及び前節で述べた当日夜のテーブル更新の際に利用するために作成することになるが、積算自動解析図とは解析の印象がやや異なる場合があり、取り扱いに注意が必要である（第5章で補足する）。

Step.3 : 平滑化处理

Step.1 で述べたように、ひまわり8号データによる海氷自動解析システムでは、密接度を入力データから格子ごとに直接解析し、周辺格子の解析の影響を受けない。Step.2 で作成した積算自動解析図はより衛星画像そのものに近い印象となる

が、解析図としては描画が細か過ぎる傾向にある。特に全般海氷情報は最終的に白黒のFAX図として配信されるため、格子ごとの違いは境界線やパターンで塗り潰され、ユーザ側で判別し難くなるおそれがある。一般に細かな描画のニーズもあると推察するが、海氷シーズン中は、海洋の健康診断表のコンテンツ内に、ひまわり8号によるオホーツク海南部の衛星画像⁴（赤外、近赤外、可視の3バンドをRGB合成したもの）を8時から16時の30分ごとに公開している。ある程度の要求はこれにより満たされるとし、海氷解析図としては一目見て情報の伝わりやすい、特徴を捉えた解析に均したものを作成、公開することとしている。

この処理は、従来の現業解析においては、現業作業中に解析者が衛星画像のデータを「丸めて」解釈することと同等である。しかし、例えば、広範囲の密接度9-10領域内に存在する海氷の割れ目などを密接度9-10で広くまとめてしまう場合や、疎らに広がっている海氷や筋状に並ぶ海氷をその構造を残した表現とするか、あるいは周辺領域と均した広がりとするか等は解析者による主観を基準とする。いずれもどの程度まで許容するかは、その規模によりその都度、適宜、経験等に基づいて判断している。従来の現業解析ではこれら解析者の主観に基づく解釈のばらつきを抑制するため、解析後の会報でチェック担当者と意見を交わすことで、解析の品質安定を図ってきた。しかし、これを機械的に処理するのは難しい。すなわち、単純に周辺格子の相加平均をとると、第3.2.2項の密接度算出で述べた問題と同じバイアスが広がり、また、解析図もエッジのぼやけた図になってしまう。これらの対応として、暫定的に以下のような処理を考案した。

解析者がある領域における海氷密接度を丸めようとする際、ある格子を海氷のまま、その密接度だけを変更して周辺格子の密接度と均すことは比較的多い。一方、海氷格子を海格子に置き換える、あるいは逆に、海格子を海氷格子に変更することは、広い範囲でこれを繰り返すと最終的に海氷域

⁴ 気象庁WEBサイト海洋の健康診断表オホーツク海南部の衛星画像（静止気象衛星ひまわり）
（画像の掲載は海氷が北緯52度以南に南下した場合のみ）

面積に影響が出るおそれがあるため、密接度だけの変更に比べて若干憚られる。これら各密接度、海、不明、それぞれの間の、「変更の抵抗感」を一般的な自由エネルギーのアナロジーから、仮想的な反応熱行列 ΔH として与え、以下の値が最小となるよう各格子の解析を置き換える。

$$\Delta G = \Delta H - k\Delta S \quad \cdots (4)$$

このうち、エントロピー S は $S = -p \log p$ (p は各解析の出現頻度)であり、 $\Delta H = 0$ とした場合は、対象領域における多数決を採ったものと同じとなる。

ただし、平成 27 年度の開発において、 ΔH を調整する時間が確保できなかったため、この式を直接実装できていない。2015/2016 海氷シーズンの運用は、値に制限を設けた上でエントロピー S の極小値を探索する方式に留めており、この処理については今後、導入の採否も含め、再検討する予定である。

4. 現業利用の開始と解析事例の紹介

4.1 海氷自動解析システムの現業利用の開始

前章までに述べたように、ひまわり 8 号を利用した海氷自動解析システムでは、アルゴリズムの改良や新規開発により、

- ・海氷判別のしきい値の決定手法に起因する値の不確実性の排除と、これによる解析精度向上
- ・衛星観測の日変動、季節変動に追従することによる、シーズンを通じた信頼性の確保
- ・雲による不明領域近傍で、より適切な海氷密接度の算出
- ・特に海氷縁付近でより衛星画像に近い、特徴を捉えた解析

が可能であると期待される。また、ひまわり 8 号の高頻度観測を生かす特徴として、

- ・複数の解析結果の合成に、信頼度の重みが付く
- ・観測頻度の増加が解析精度の向上に反映される
- ・複数の観測時刻の解析から、広い範囲の状況が把握できる

ようになった。特に、最終項目はシステムによる解析が有効に機能する。例えば、オホーツク海が雲に覆われ、僅かに一部のみがその隙間から解析できるような状況であっても、海氷自動解析システムでは、複数の観測時刻の解析結果を組み合わせ、不明領域の少ない解析を行うことが可能である（具体的な事例を第 4.5 節で示す）。同様の解析を従来の現業解析手法で行うには、数十枚の衛星画像の解析を行う必要が生じる。従来の現業解析手法で、ひまわり 8 号の観測データを全面的に活用するというのは、現実的ではない。

このように、ひまわり 8 号の利用により、海氷解析作業に一定の改善が確認されたことから 2015/2016 の海氷シーズンには、海氷自動解析システムを一部導入して現業業務を実施した。ただし、導入に際しては、全般海氷情報の精度を担保するために、一部は手作業による解析を継続した。具体的には、全般海氷情報を発表する火・金曜日の解析は精度の担保を優先し、自動解析は参考資料として扱い、解析図の下地としては利用せず、全域を従来の現業解析手法で解析を行った。その他の官執勤務日は、海氷自動解析図をベースに解析者による修正、追加を行った。一方、非官執勤務日である土日、休日等は自動解析システム出力の解析図を原則そのまま公開した。

4.2 2015/2016 海氷シーズンの海氷の概況

次節以降では、2015/2016 海氷シーズンにおける海氷自動解析システムによる解析事例を簡単に紹介する。事例紹介にあたり、シーズンを通じた海氷の概況は以下の通り。

2015/2016 海氷シーズンのオホーツク海全域の海氷域面積は、平年並か平年より小さく経過した。オホーツク海南部の海氷域は、1 月前半まで平年並に南下していたが、北海道オホーツク海沿岸への到来は平年より遅かった。2 月下旬には、北海道オホーツク海沿岸の所々で接岸したが、3 月末には、北海道オホーツク海沿岸に接岸していた海氷域は、すべて沖合に離れた。なお、詳細は海洋の健康診断表の該当サイト⁵を参照されたし。

⁵ 気象庁 WEB サイト海洋の健康診断表オホーツク海の海氷分布（年概況）

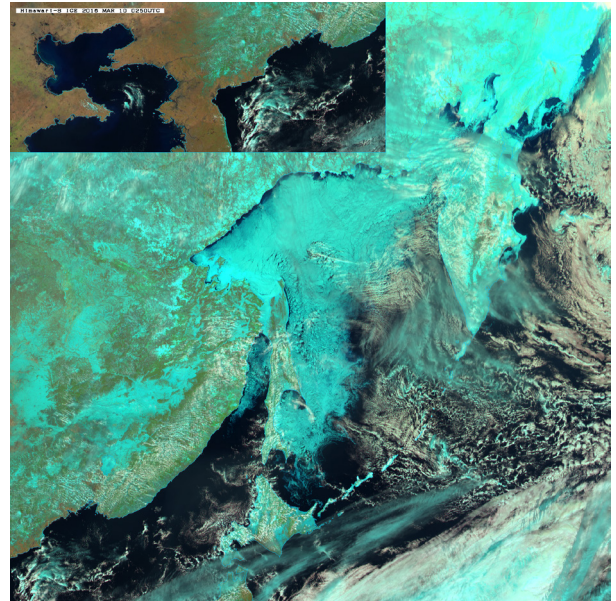
以下、この3月の解析事例を紹介する。

4.3 オホーツク海全域解析

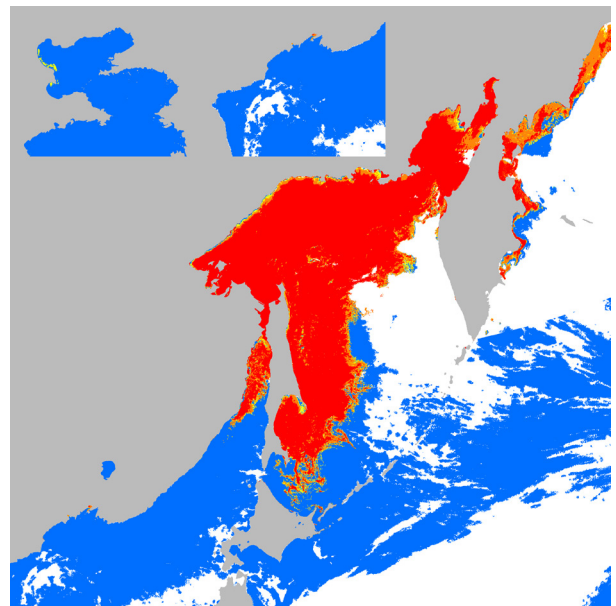
オホーツク海全域の自動解析例として、2016年3月10日0300UTCのひまわり8号による衛星画像（バンド5,4,3をRGB合成したもの。以下同じ）と、その日の積算自動解析図（全域）を第9図に示す。当日はこれら自動解析プロダクトを基に解析者が修正したものを海洋の健康診断表に掲載したが、積算自動解析図の時点で概ね適切に解析している。積算自動解析図では、オホーツク海北部からサハリンの東にかけて依然高い密接度の海氷域が広がっているものの、北海道周辺の海氷は大部分が既に沖合に離れ、低密接度の海氷が分布している様子が確認できる。また、知床半島の一部で接岸、根室海峡への海氷の流入についても解析している。0300UTCの衛星画像及びスナップショット解析図（掲載は省略）では、特に北海道沿岸やサハリン東の海氷縁、カムチャツカ半島東方海域が雲の影響で不明瞭であるが、積算自動解析図は他の観測時刻と合成することでこれら海域や海氷縁等を解析している。一方、オホーツク海北東部からカムチャツカ半島西方海域にかけては、他の観測時刻においても雲に覆われ、積算自動解析図でも不明のままとなっている。

4.4 流氷大回転

2016年3月23日には、海上保安庁第一管区海上保安本部による航空機観測で、知床岬付近にて一般に「流氷大回転」と呼ばれる、直径約30キロメートルに及ぶ巨大な渦模様が確認され、その様子は一部の報道機関で報じられた。この現象は規模が大きいため、一般に航空機や人工衛星による観測以外では確認が難しいが、撮影された画像（第10図）では、渦の動きが海面の砕け氷と板状氷の分布によって反時計回りに可視化される様子が見て取れる。また、ひまわり8号による衛星画像（第11図左）でも該当位置に海氷分布が確認できる。スナップショット自動解析図（第11図右）では、下層雲による不明領域や、知床半島、国後島周辺での密接度の過小評価が散見されるものの、大回転の様子は知床半島の北に7-8以下の



2016/03/10 0300 UTC ひまわり 8 号による衛星画像
(バンド 5,4,3 を RGB に合成。以下同じ)



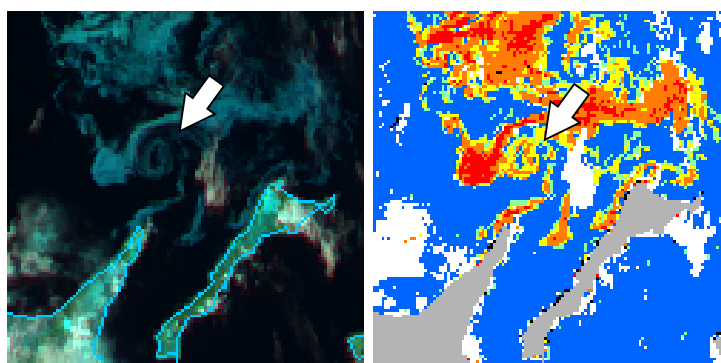
同日の積算自動解析図（平滑化処理なし）

第9図 2016年3月10日のひまわり8号による衛星画像と、その日の積算自動解析図



出典：海上保安庁第一管区海上保安本部海氷情報センター

第 10 図 2016 年 3 月 23 日の「流氷大回転」



2016/3/23 0300UTC

ひまわり 8 号による衛星画像
(拡大)

同日同時刻のスナップショット

自動解析図 (拡大)

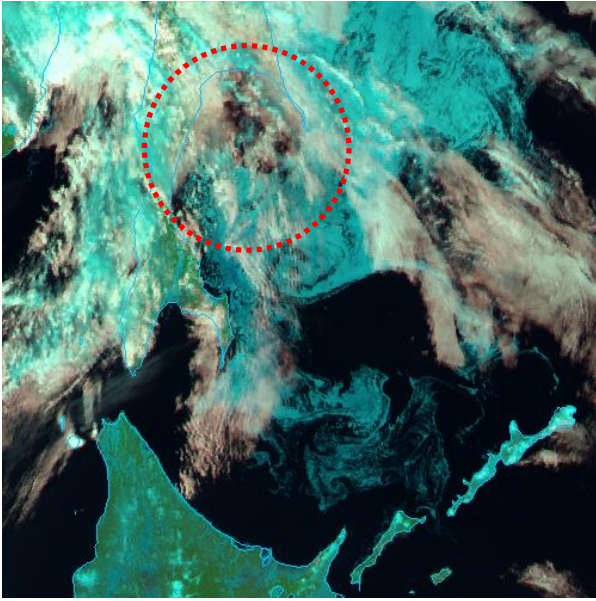
第 11 図 2016 年 3 月 23 日のひまわり 8 号による衛星画像とスナップショット自動解析図(拡大)

密接度での渦模様を解析している。当日の解析図は、これら渦模様は細かすぎるため、密接度 7-8 や 4-6 に丸めて表現している。

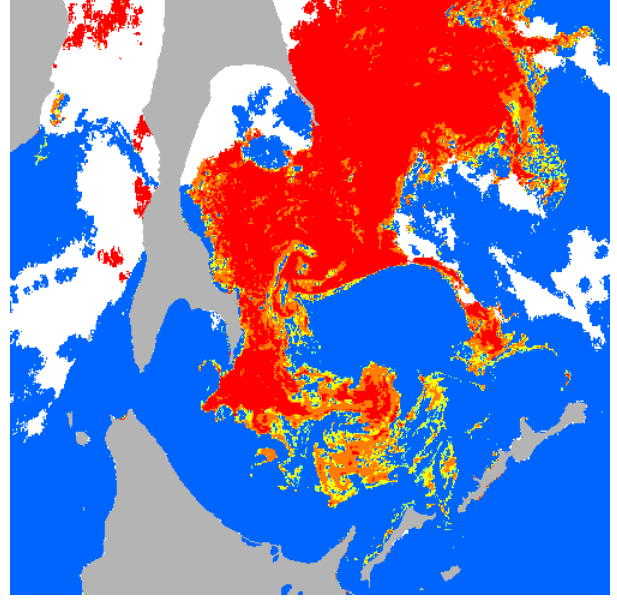
4.5 オホーツク海南部解析

オホーツク海南部の自動解析例として、2016 年 3 月 27 日 0300UTC のひまわり 8 号による衛星画像と、当日の積算自動解析図(平滑化処理なし)、0100, 0400UTC のスナップショット解析図を第 12 図に示す。西又は南よりの風により北海道の沖合に離れた海氷が、一部は国後島や択捉島に接岸し、また国後水道から太平洋へ流出している様子が確認できる。

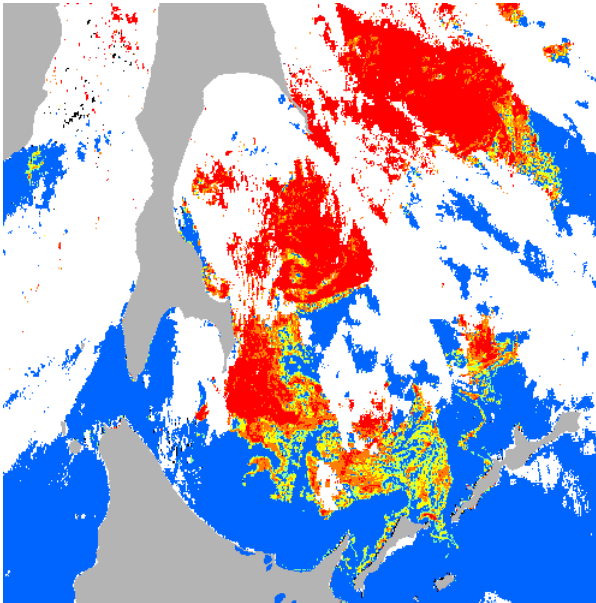
各観測時刻における衛星画像及びスナップショット自動解析図では、上層雲の影響で所々に不明瞭な領域が散在していたが、当日の雲の動きは早く、この不明領域は別の観測時刻における解析により補われ、積算自動解析図では不明領域がかなり少なくなっている。従来の現業解析手法においては、このように解析を幾重にも重ね合わせるのには、非常に作業難度が高い。特にこの事例でのテルペニヤ湾における海氷縁及び海域は、各観測時刻で衛星から見える領域が僅かであることから、従来の現業解析手法では解析自体が難しく、不明として扱うことになるため、システムによる解析が大いに有効であった。



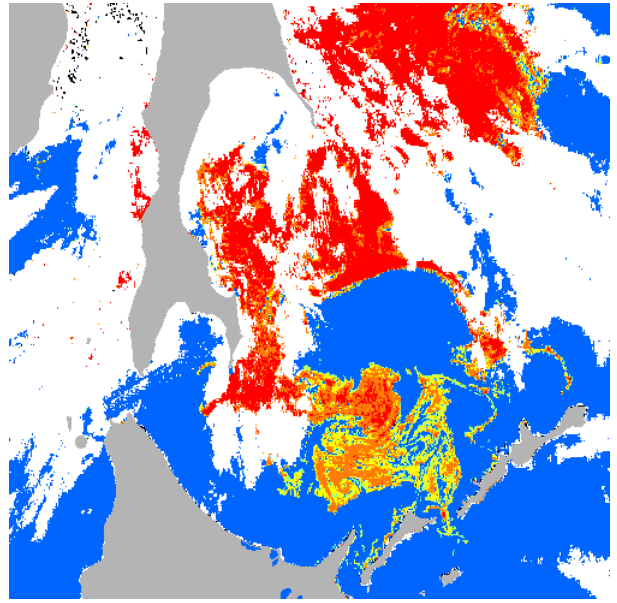
2016/3/27 0300UTC ひまわり 8号による衛星画像
(赤枠はテルペニヤ湾)



同日の積算自動解析図 (平滑化处理なし)



2016/3/27 0100UTC スナップショット自動解析図



2016/3/27 0400UTC スナップショット自動解析図

第 12 図 2016 年 3 月 27 日のひまわり 8号による衛星画像と自動解析図

当日は非官執勤務日であったため、この積算自動解析図を基にした解析プロダクトをそのまま海洋の健康診断表に掲載した。

5. 既知の問題と今後の開発計画

2015/2016 海氷シーズンを通しての現業運用では、海氷自動解析システムの利用にあたり、注意を要する事例、特に誤解析を起こしやすい事例を蓄積、検証しながらの現業運用を行った。以下、これら課題と今後の対応予定について紹介する。

5.1 密接度の誤解析

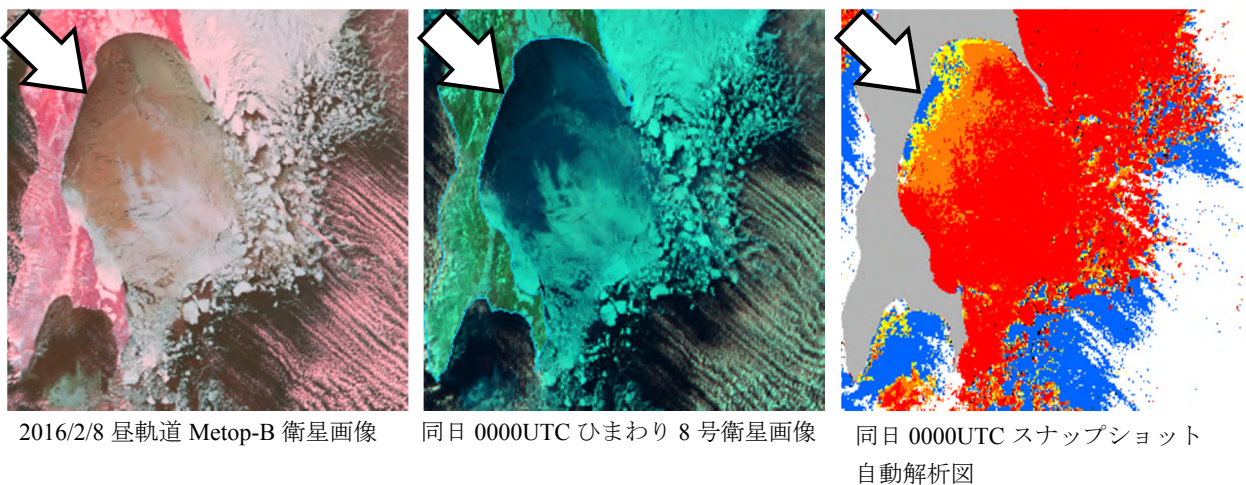
ひまわり 8 号による観測は、衛星のセンサーで観測対象の反射率、輝度温度を計測することで行っているが、この観測は対象からセンサーまでの間の様々な環境の影響を受ける。

第 3.2 節で述べたように、衛星データの主な時間依存性のうち、太陽天頂角による影響は気象衛星センターで補正されているものの、大気状態による変動はほとんどないとの仮定である。しかし、実際には、大気懸濁度は無視できず、観測は散乱による影響を受け、この仮定は誤解析の要因となり得る。

顕著な例として 2016 年 2 月 8 日 0000UTC におけるオホーツク海南部のひまわり 8 号衛星画像、

同時刻のスナップショット自動解析図及び比較のため、極軌道衛星 Metop-B の衛星画像を第 13 図に示す。この例において、サハリン南部テルペニヤ湾北西の沿岸海域は、Metop-B では密接度 7-8 以上の海氷域であることが確認できる。しかし、ひまわり 8 号では沿岸海域の反射率が低く観測されており、これを利用したスナップショット自動解析図は、この低い反射率を密接度 4-6 あるいは海と解析している。この対応として、気象衛星センターにて運用予定のレイリー散乱補正処理があり、入力データをこの補正済みデータとすることを検討中である。なお、入力データの補正による効果が、システムの再構築なしに、海氷判別処理に次第に反映されることも、このシステムの強みである。これにより、これら大気中の光の散乱による影響は除外され、より第 3.2 節の式 (2) の表現に近づくことになる。

他方、周辺格子からの影響による誤解析事例として、2016 年 1 月 6 日 0030UTC の日本海から間宮海峡にかけてのひまわり 8 号による衛星画像、スナップショット自動解析図を第 14 図に示す。ここで、上層雲下の不明領域の北側は、本来、密接度 7-8 以上の、比較的密接度の高い「詰まった」海氷域であるが、スナップショット自動解析図では、上層雲がつくる影からこの領域を海と誤解析



第 13 図 2016 年 2 月 8 日の衛星画像とスナップショット自動解析図(大気状態による誤解析)

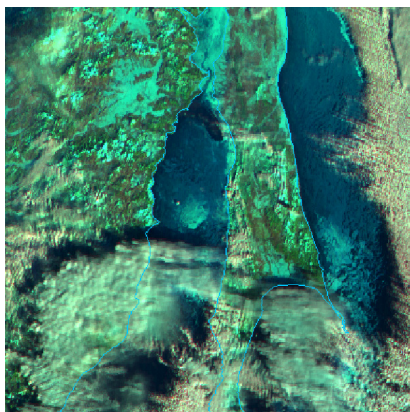
している。自動解析における衛星データと海水密度の関係は、格子ごとに単純に変換しているので、外部要因によって反射率が低くなれば誤解析が発生する。もっとも、多くの場合、時間経過によりこれら雲域は移動し、また太陽天頂角も変化するため、別の観測時刻ではこれら誤解析領域も移動することになる。このため、別の観測時刻における解析と合成する積算自動解析図ではこれらの誤解析は低減すると期待されるが、スナップショット自動解析図を直接利用する際には注意が必要である。

5.2 低密接度の検出率が低い問題

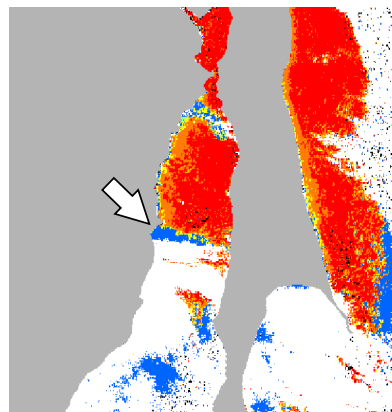
ひまわり 8 号データによる海水自動解析では、高い密接度の海水域の検出に比べ、低密接度の海水域の検出率が低く、現業作業では解析者の修正が必要となった。この検出率の低さについて、開発段階から判明している要因のひとつは、ひまわり 8 号は静止軌道にあり、極軌道に比べて非常に高い高度にあるため、反射率の低い低密接度の海水は捉えきれない可能性が挙げられる。これについては、海水自動解析システムの高度化に、将来的にはその他の衛星観測データも組み込むことを検討している。その一つとしてひまわり 8 号のデータと極軌道衛星による観測結果を相互に参

照した密接度解析処理を考えたい。

一方、特に北海道オホーツク海沿岸海域に広がる低密接度の海水域で、対象観測時間内で長時間、広い海域が解析できているような事例において、スナップショット自動解析では各観測時刻の衛星画像と一見同じ様な海水解析をしているにもかかわらず、積算自動解析図では低密接度領域が狭まり、いわば時間経過とともに「痩せ細る」図となっているケースがある。これは、積算自動解析図への合成処理で用いているアルゴリズムが、海水は対象時間内で移動しないという仮定に基づき構築されていることに因る(第 3.2 節の式 (3))。これは、オホーツク海全域の現業解析で多くの場合良い近似である。しかし、特に以下のようなケースでは海水の動きを無視できない。すなわち、周辺が海と解析される領域である状況で、対象観測時間内に海水がある程度以上の速度で移動しているような場合、スナップショット自動解析図は、その観測時刻に存在する格子に海水が解析されている。一方、積算自動解析図は、海水が移動することで、当初、海水が存在した格子に、海水が存在しない観測時刻の解析が次々に合成される。海水と解析されていた格子は、この合成により、次第に信頼度の高い海格子として解析される。また、海水が移動した先の格子は、移動前の解析か



2016/1/6 0030UTC
ひまわり 8 号による衛星画像

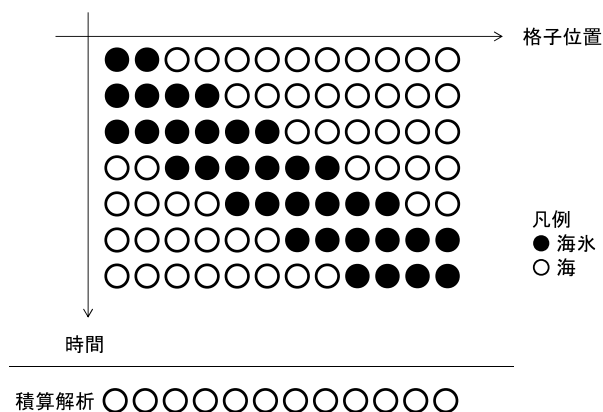


同日同時刻のスナップショット
自動解析図

第 14 図 2016 年 1 月 6 日 0030 の衛星画像とスナップショット自動解析図 (雲による誤解析)

ら、信頼度の高い海格子である。したがって、この格子が海氷格子に置き換わることは少ない（第15図）。これにより、時間の経過とともに、積算自動解析図における海解析が優勢、海氷域は次第に「痩せ細る」ことになる。スナップショット自動解析の比較では、第12図のように海氷の移動を認識することは難しいが、海氷判別は格子単位で行うため、わずかに数格子の移動でも影響が大きい。実際の海氷は、特に沿岸海域や海峡等では衛星画像で確認出来る時速数キロメートル程度の規模で移動しており、これらの領域において、動きの速い低密接度の海氷検出率が低下する。

一般に、スナップショット自動解析図のノイズや誤解析は、主に信頼度の低さから発生するもので、単純に観測データの数を増やすことで最終的な積算自動解析図では解消される。一方、これら海氷の移動に起因する誤解析は、スナップショット自動解析図で解析できていた海氷が、積算自動解析図の段階で情報が失われる構造である。解析精度を高めるために、別観測時刻の解析を利用すればするほど、発生する可能性が高まることになり、アルゴリズムによる対応が必要である。以下、検討案（ただし、問題があり不採用）、当面の現業運用対応、長期的な課題の順に述べる。



第 15 図 時間経過で低密接度解析領域が減少する要因の模式図

横軸は格子位置。縦軸は時間とした。簡単のため、積算解析では、各観測時刻の最も優勢な解析のみを合成する。海氷は大きさを変わらず右に移動しているが、積算解析では海氷が解析されない。

まず、1日のうちで海氷が移動によって「掃く」領域すべてを海水域として解析することを検討した。これにより、合成による情報の喪失は発生し難くなる。しかし、以下の理由によりこの方式は不採用とした。

- ・従来からの海氷の実況解析とは異なり、発表時刻には既に海氷が存在しない領域に広範な海水域を解析することになる。
- ・これにより、防災情報として受け手に誤った印象を伝えるおそれがある。
- ・合成によるノイズ抑制が行われなくなる。
- ・気候変動の資料としては、この解析は過大であり、各種統計に影響が及ぶ可能性がある。

当面の対応としては、2015/2016 海氷シーズンにはアルゴリズムによる処理の実装は難しく、現業作業で衛星画像やスナップショット自動解析図を参考資料として利用しつつ、これら低密接度の海水域の解析は、解析者による修正作業で補うこととした。

抜本的な対策として、海氷の時間変化を含めた解析が考えられるが、これは長期的課題である。つまり、現在、格子点ごとに独立して行っている海氷判別処理を、予報モデルの結果を取り込み、格子点の「状態」の時間変化、海水域の面的広がりを含めた解析に高度化する。しかし、この開発には時間を要する。将来の海氷解析の客観化、予報・解析の同化サイクルの開発までにおける検討課題としたい。

5.3 大規模ノイズの発生

海氷シーズンにおいて、低気圧の通過等に伴い、オホーツク海に下層から上層までの背の高い雲が持続的に流入するようなケースは少ない。2015/2016 海氷シーズンには、不明と解析すべき、これら雲域の大半を広く密接度 9-10 の海氷域と誤解析するような事例が頻発した。

これは、第 3.2.1 項の Step.2 で作成した衛星データから海氷密接度への変換テーブル内に適切でない対応関係が多数存在したためである。直接の原因としては、初期の海氷自動解析システムでは第 3.2.1 項の Step.1 における雲域の処理を行っておらず、このため、ひまわり 8 号データを基にす

べきテーブル内に、AMSR2 海氷密度プロダクト由来の適切でない対応関係が混入していた。雲域処理により、これらは大部分が抑制されるようになった。しかし、これに限らず、毎日のテーブル更新の際には、参照する修正済み解析図と各観測時刻の衛星画像は、正確に1対1に対応するものではないため、テーブルにはある程度の不適切なデータの蓄積を許容している。現行システムはデータ蓄積に格子を数え上げる方式に留めたが、テーブルの作成に機械学習を組み込むことも検討したい。

また、テーブルの作成では、前日までのテーブルと合成する際に過去データに減衰をかけているが、これは主に季節変動への追従のためだけに設定したもので、固定値であった。しかし、同様に減衰により過去データに含まれる不適切なデータも抑え、最新の解析に置き換えることになる。このため、このダンピング係数を自動調整する処理を検討中である。

さらに、現システムにおけるひまわり8号のデータは、バンド3,4,5のみを利用しているが、その他、雲域やエアロゾル等の検出に有効なバンド帯のデータから各種マスクデータを作成することも可能である。これらデータの活用による解析精度の向上も今後の目標としている。

一方、システムの現業運用の面では、個別処理の解析精度向上だけでなく、これら広範な誤解析領域を直接解析図から除外する方面からのアプローチが必要である。何故なら、一般に解析者が修正を行う前提では、衛星画像との比較でこれら領域が誤解析であることは明白で容易に修正できるものの、2015/2016 海氷シーズンからは、非官執勤務日は解析者の修正を行っていない自動解析図を公開している。平成28年度(2016年度)は、これら信頼性の低い領域は、解像度は低いもののマイクロ波観測などで置き換えるといった処理を開発している。2016/2017 海氷シーズン早期には現業システムに組み込む計画であり、これにより

解析プロダクトの品質向上が図られる。

6. まとめと今後

ひまわり8号の観測データを用いた海氷自動解析システムを開発し、2015/2016 海氷シーズンより現業運用を開始した。ひまわり8号の特徴のひとつである高頻度の観測を生かした海氷解析が可能であり、また、これにより、従来の解析者の主観のみに基づく海氷解析から客観性の獲得に向け、一歩前に踏み出すことになる。

解析精度に一定の品質は確保されており、一部、解析者による修正を要したものの、大きな支障なく、日々の現業作業の効率化が可能となった。また、非官執勤務日には注釈を付け、海洋の健康診断表のコンテンツ内に自動解析図を掲載している。

一方、北海道オホーツク海沿岸等において、精度の高い解析が求められている状況では、緻密な従来の現業解析手法に及ばず、解析者による修正を要している。誤解析の低減を始め、プロダクトの品質向上を図るべく解決すべき課題は多いものの、主要な課題において解決の糸口は掴んでいる。加えて、ひまわり8号の観測データのうち、現行システムでは利用していないバンド帯のデータの利用、あるいは、ひまわり以外の衛星データの活用のほか、アルゴリズムの改良等によって解析精度向上の余地は十分ある。海洋気象情報室では、引き続き、より高度な解析システムへ向け、開発を継続していく予定である。

参考文献

- Chikasawa, M. *et al.* (2010) : A New Method of Sea Ice Analysis in the Sea of Okhotsk. Proceeding of 25th Intern. Symp. on Okhotsk Sea and Sea Ice, 125-129.
- 田口晴夫・松本隆則 (2000) : 気象衛星 NOAA のデータを用いた海氷域の抽出. 測候時報, 67 特別号, S17-S25.