Snake法によるアマモ場航空写真における 画像抽出に関する研究

澤井 泰基¹

¹ 正会員 (株)昭建 工事本部
E-mail: taiki-sawai@kk-shoken.ci.jp

造成したアマモ場をモニタリングにより事業評価し、その結果を後々の造成活動に反映していくことは重要である。アマモ場のモニタリング手法は、コドラード法による調査手法が用いられるが広大な群落をモニタリングするには労力が大きい。これに対して、衛星リモートセンシング、航空機、バルーンやドローンによる空撮画像から藻場を分類する研究が取り組まれている。RGB 画像からアマモ場を判別するには教師付分類による閾値法が用いられるが、計測者の経験に依存する部分が大きく、藻場抽出に時間的な労力を要する。本研究ではドローンによる空撮画像からのアマモ場抽出について従来の手法で問題となっていた解析時間と人為的な誤差を、領域ベースの Snake 法を用いることで短時間かつ人為的誤差の少ない高精度な解析手法を検討することを目的とする。

Key Words : Eelgrass, Image analysis, Snakes, UAV, Remote sensing

1. 概要

稚魚の育成場所や水質改善機能など、海の生態系に有益な存在として知られているアマモ場は、海洋構造物の建設や港湾整備の埋立てによる浅場の減少により全国的にその数を減らしている。例えば、池森ら¹⁾のアマモ場調査では、石川県能登半島を中心にアマモの生育を確認できたが、その数は減少傾向にあり、珠洲市沿岸では1990-2012年にかけて約50%のアマモ場が消失していることが指摘されている。このような現象は全国のアマモ場で起こっており、アマモ場の減少による有用魚介類の漁獲量減少などの影響が見られたため各企業や自治体、NPO法人を主体としたアマモ場の造成事業が積極的に行われるようになった。アマモ場の造成技術はある程度確立されており様々な手法で取り組んだアマモ場造成事業の成功例が報告されている。造成し定着したアマモ場はモニタリングにより事業の評価をする必要があり、評価結果は事業の成否の判断だけではなく、後々の造成事業に反映し、造成技術の改善・発展を図るためにも重要である。アマモ場のモニタリングは潜水による面積や株密度の調査が行われる。潜水調査は局所的な植物の生育状況やその場所に生息する生物調査には有利な手法であるが、藻場面積の把握のような広域の分布状況を計測するには不向きである。アマモ場分布もモニタリングにおいては衛星、航空機、気球やドローンによる空撮画像によるモニタリング手法がいくつか提案されている。広い範囲を一

枚の画像に収めることができる空撮画像は、画像からアマモ場の分布状況を一括で把握することができるため有利な手法である。空撮画像からアマモ場の分布域を抽出する手法については様々な研究が試みられているが、精度や解析時間は計測者の習熟度によるばらつきが大きい問題がある。

2. 既存の研究

空撮画像からのアマモ場分布モニタリングはこれまでもいくつかの研究が行われており、それらは衛星画像によるモニタリングと、ドローンをはじめとしたローカルリモートセンシングによるモニタリングの二つに大別される。衛星画像によるアマモ場分布モニタリングは京田ら²⁾によれば教師データを併用した場合は 99.8%の高精度で解析が行え、教師データを併用しない場合でも 77.5%と実用的な精度での解析が行えることがわかっている。しかし、衛星画像は撮影時期によって衛星の軌道に左右されることがあり必要なタイミングに撮影を行うことが困難な場合があるのと、撮影費用も高額になるため撮影時期や撮影頻度の十分な検討が必要になる。一方で、ローカルリモートセンシングによるアマモ場分布モニタリングはドローンを飛ばせる環境であれば撮影が行えるため観測者の都合と天候条件によって高頻度の観測も可能である。計測に必要なコストも機材に対する初期費用

のみで撮影が行えるため費用コスト面での負担が比較的小さいといった利点がある。解析精度も環境省³⁾によれば72%と、衛星画像よりもある程度精度は落ち込むが、実用的な精度での解析が行えていることがわかる。しかし、この解析精度はいずれもGISや現地調査による教師データを併用した場合での解析精度であり、空撮画像から取得できるデータは二次元平面情報のみであるので水深による輝度変化や水の濁り、大気状況による誤差要因を除去するために教師データが必要である。

例えば、紙屋⁴⁾は水深による輝度特性の変化に着目し、水深ごとに輝度の閾値を設定し、二極的な画像抽出を行ったが、浅海域での解析精度が42.8%と大幅な精度低下が見られた。また、生物多様性センター⁵⁾の調査では目視判断により画面内に写り込んだアマモ場以外の植生や、海洋構造物をあらかじめ解析から除外する手法を行った。解析精度については明言されていないが水深が深い点や複数の優占種が生育している箇所では解析が難しく実用的な解析が行えていないことがわかった。このように、画像からアマモ場を抽出する際には、画像の閾値以外の情報が必要であり、現状では現地調査に基づいた教師データを使用して観測者の判断によって画像抽出が行われているのが現状である。

3. 研究の目的

既往の研究よりローカルリモートセンシングによる解は複数の誤差低下要因を考慮し、教師データを作成する必要がある、観測者の作業時間と熟練度による誤差の低減は現状の解析手法では難しいことが指摘されている。そこで、本研究では、画像中のアマモ場の抽出に医療分野の画像解析で用いられるSnake法を適用しその有用性を検証する。領域ベースのSnake法においては、その解析手法において重み係数や試行回数などの設定が解析精度に大きく影響を及ぼすため、既存の手法で抽出したアマモ場領域に対しての精度と解析に要する時間を検証することを本研究の目的とする。

4. Snake法によるアマモ場分布の解析

画像解析分野において、同様の問題を抱える画像としてレントゲン写真などの医療画像が挙げられる。由井⁶⁾によれば、現在の医療現場では1検査あたりのデータ量の増加により、一人の医師が短時間の診療時間内に見落としなく読影することがかなり困難になっていると述べており、作業時間の負担と高度な熟練度が画像解析に必

要であることがわかる。このような問題に対して、Snake法による画像輪郭の自動抽出が注目されている。

Snake法はM.Kass⁷⁾が考案した画像抽出法であり、画像輪郭上で最小となるエネルギー関数によって構成された閉曲線を初期輪郭として与え、その最小化問題を解くことで画像抽出を行う手法である。その中でも、画像輪郭をSnake曲線の内側の平均輝度値と外側の平均輝度値によって定義することにより、輪郭線がぼやけた画像の抽出を可能にしたF.Chan⁸⁾が考案した領域ベースのSnake法と呼ぶ。領域ベースのSnake法のエネルギー関数は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \inf_{(c_1, c_2, C)} F_{(c_1, c_2, C)} &= \mu \cdot \text{Length}(C) \\ &+ \nu \cdot \text{Area}(\text{inside}(C)) \\ &+ \lambda_1 \int_{\text{inside}(C)} |u_0(x, y) - c_1|^2 dx dy \\ &+ \lambda_2 \int_{\text{outside}(C)} |u_0(x, y) - c_2|^2 dx dy \quad (1) \end{aligned}$$

但し、 $\mu, \nu, \lambda_1, \lambda_2$:評価項の重み係数、 $\text{Length}(C)$:Snake曲線の長さ、 $\text{inside}(C)$:Snake曲線内部の面積、 $\text{Outside}(C)$:Snake曲線外部の面積、 $u_0(x, y)$:Snake上のピクセル点 (x, y) の輝度値、 c_1 :Snake初期輪郭の平均輝度値、 c_2 :Snake初期輪郭外部の平均輝度である。Snake法は式(1)を最小化問題として、任意の回数修正することで、画像輪郭の抽出を行う。右辺第三項と右辺第四項は画像エネルギーと呼ばれ、輝度値による領域の競合を用いてSnake点を輪郭周辺に発達させる。これにより輝度変化量を画像エネルギーの評価項としていた従来のSnake法とは異なり、明確な輪郭をもたない画像の抽出もある程度行えるようになっている。右辺第一項と右辺第二項は内部エネルギーと呼ばれ、Snake点を線で繋ぐ役割を持つ。第二項は点同士のベクトル差が最小になるように調整されるが、この項のみでは実際の画像輪郭よりSnake曲線は大きくなってしまふ。そこで第一項で直線の長さが最小になるように調整され、Snake点同士を最小かつ滑らかに繋ぐようにしている。この手法をアマモ場モニタリング画像の解析に適用すれば、観測者は初期輪郭を設定する際にアマモ場の大まかな位置情報さえわかっていれば良いので、解析に考慮するデータが少なくなるため解析に要する時間が短縮できると予想される。また、解析を最小化問題によって行うため、観測者の熟練度が精度に与える影響はきわめて小さいと考えられる。本研究では、空撮画像からのアマモ場抽出手法として、領域ベースのSnake法を適用することで、既存の研究におけるアマモ場抽出手法の教師データへの依存性を解消できないか検討する。

また、領域ベースの Snake 法による抽出の抽出精度を検証し、アマモ場モニタリング手法として実用的な精度でのアマモ場抽出が行えるか、精度良くアマモ場抽出を行うことができるエネルギー関数のパラメータ設定について検討を行う。以上の項目を、時間的、位置的に異なる複数のアマモ場空撮画像に対して検討し、同じアマモ場抽出手順とパラメータ設定で、一定の精度で抽出を行っているかを確認することで、アマモ場及びアマモ場の撮影条件が抽出精度にどの程度影響を与えるのかを検討する。アマモ場及びアマモ場の撮影条件が、抽出精度に影響を与えることが確認された場合、その影響を最小限にとどめるような対策案についての検討を行う。

本研究では、領域ベースの Snake 法によるアマモ場抽出において、モニタリング手法として実用的な精度で抽出でき、かつ、撮影時期や撮影条件に左右されず安定した抽出を保証するエネルギー関数のパラメータ設定と試行回数を提示する。

5. 観測概要

アマモ場空撮画像の撮影対象地として七尾市能登島そわじ浦海岸を選定した。選定理由としては周辺に構造物が少なくアマモが広範囲に繁茂しており、波も穏やかであるため撮影が行いやすい点にある。また、アマモ以外の植生が撮影領域内に群生しているので、領域ベースの Snake 法によるアマモ場抽出が、複数の植生が群生している領域に対して有効であるかを検討することができる。

撮影には撮影カメラとして Go Pro 社製の Go Pro HERO 3 Back Edition を搭載した、カスタムドローンを使用して撮影した。ドローンによる空撮映像の中で、機体が安定している部分の映像を一部切り出し、魚眼レンズのひずみ補正を加えることで、アマモ場抽出用のアマモ場空撮画像として使用した。

本観測では、2015 年 9 月 16 日、2015 年 10 月 21 日、2016 年 4 月 25 日、2016 年 6 月 15 日、2016 年 8 月 8 日の五つの期間に撮影された空撮画像を解析に使用する。

図-1 は 2016 年 6 月 15 日に撮影したアマモ場空撮画像から、入力画像を現地調査や目視判断を元にアマモ場が写り込んでいる箇所を約 50 領域ほどに分割し、分割領域それぞれに閾値を設定することでアマモ場を赤色で塗り潰した画像である。画像編集は Photoshop を用いて行った。この画像を最も確からしいアマモ場抽出画像として領域ベースの Snake 法によるアマモ場抽出の精度検証に使用する。図-1 の画像の作成に要した作業時間は 8 時間ほどであり、5 枚の画像全てにおいて同等か、それ以上の作業時間を費やす結果となった。

図-2 は領域ベースの Snake 法による画像抽出を行った

画像である。プログラムは MATLAB コミュニティにて Nikolay S. が提供している Active Contours implementation & test platform GUI を使用した。

図-1 閾値によるアマモ場抽出画像

図-2 領域ベースの Snake 法によるアマモ場抽出画像

これらの 2 枚の画像を Photoshop により重ね合わせ、アマモ場抽出領域で画素の位置が一致しないものを誤差ピクセル数として計測し、図-1 のアマモ場の総画素数で除したものを誤差として計測した。Snake 法の試行回数は 100 回単位で行い、抽出した画像それぞれに対して精度検証を行った。

6. 重み係数への検討

領域ベースの Snake 法によるアマモ場抽出を 2016 年 6 月 15 日に撮影したアマモ場空撮写真に対して行った。初めに、初期設定でのエネルギー関数のパラメータ設定を用いてアマモ場の抽出を行った。試行回数 $n=1000$ で保存されたアマモ場抽出画像を図-3 に示す。

図-3 初期パラメータ設定でのアマモ場抽出画像

図-3 の画像抽出において使用した、重み係数の設定値

を表-1 にまとめる.

表-1 初期パラメータ設定での重み係数

μ	v	λ_1	λ_2
$(255)^{-6}$	e^{-1}	1	1

図-3 より, 海中領域外部に Snake 曲線が過剰発達してしまっていることがわかる. これは, 道路や建物などの大きな輝度情報を持つ画像が初期輪郭の外側に存在するため, エネルギー関数の第四項の値が大きくなりすぎてしまい, Snake 曲線が外側に過剰に発達してしまっていることが原因であると考えられる. 通常, 内部エネルギーの影響により Snake 曲線は内側へと発達するが, 初期輪郭の外側に抽出目標物体より大きな輝度をもつ物体が存在するとき, Snake 曲線が外側へ過剰に発達してしまい, 想定した抽出画像が得られなくなる問題が発生してしまう. この問題を解決するために, 画像エネルギーの関数の重み係数の設定を表-2 のように設定し, 内部の輝度平均の評価項目である第三項の重みを増やして画像抽出を行った. 試行回数 $n=1000$ で保存されたアマモ場抽出画像を図-4 に示す.

表-2 最適化したパラメータ設定での重み係数

μ	v	λ_1	λ_2
$(255)^{-6}$	e^{-1}	1	10

図-4 最適化したパラメータ設定でのアマモ場抽出画像

図-4 より, Snake 曲線の初期輪郭の外側への過剰な発達が抑制されていることが確認できた. 他の空撮画像のアマモ場抽出においても, エネルギー関数の重みは表-2 に示した物を設定してアマモ場抽出を行った.

7. 撮影時期ごとの精度と試行回数の検討

そわじ浦で撮影した 5 枚のアマモ場それぞれに領域ベースの Snake 法による画像抽出と精度検証を行った. 試行回数は 1000 回とし, 100 回毎に抽出画像を確認し, 精度検証を行った. 各撮影時期における領域ベースの Snake

法による最高抽出精度と, それに至るまでの試行回数を表したグラフを図-5 に示す. 図-5 より, 最高精度に至るまでの試行回数には画像ごとにばらつきが見られ, 空撮画像からのアマモ場抽出における最適な試行回数が不明であるという問題が残っていることがわかった. また, 解析に要した時間は 5 枚の画像いずれにおいても 5 分程度で解析を終えることができた.

図-5 撮影時期ごとの最高精度と最適試行回数

本研究ではこの問題に対し, ガウシアンフィルタにより画素情報を簡略化することで最小化計算を単純化することで, 最高精度に至るまでの試行回数に変化が見られないかを検討した. ガウシアンフィルタは平滑化フィルタの一つである. 平滑化フィルタは, 入力画素とその周辺画素の輝度平均値を, 出力画像として入力画像と同じ座標位置に出力することで, 画像の畳み込みを行うものである. ガウシアンフィルタは, 入力画像を畳み込む際に, 入力画素の位置によって重み係数を積算することで, 入力画像の画素の位置関係をより強く出力画像に反映させるものであり, 画像処理分野では輝度情報を簡略化する手段として一般的に用いられる手法である. ガウシアンフィルタを適用することで, 入力画像のエッジはぼやけてしまうが, 従来の Snake 法と異なり輝度値による領域の競合を画像エネルギーとして定義した領域ベースの Snake 法であれば, 精度を低下させずに画像抽出が可能であると考えられる. 一般的なフィルタサイズである 3×3 サイズの, ガウシアンフィルタの概念図を図-6 に示す.

図-6 ガウシアンフィルタ概念図

また、ガウシアンフィルタのフィルタ係数は式(2)によって定義される。

$$f(x, y) = \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

ここで x, y はフィルタ上の座標位置、 σ はガウス値としてフィルタ生成時にパラメータ設定として与えられる値である。 σ の値が大きいほど、ガウシアンフィルタによるぼかしの効果が強く反映される。2015年9月16日の撮影画像に対して σ の値が 2, 3, 4, 5 に設定された複数のガウシアンフィルタをそれぞれ適用し、出力された4枚の画像に対して領域ベースの Snake 法によるアマモ場抽出を行い、試行回数 1000 回での抽出画像に対して精度検証を行った。 σ 値ごとの精度検証結果を図-7 に示す。

図-7 試行回数 1000 回における σ 値ごとの精度

図-7 より、 $\sigma=4$ のガウシアンフィルタを適用した際に最良精度のアマモ場抽出画像が得られることがわかった。各撮影時期のアマモ場空撮画像に、 $\sigma=4$ のガウシアンフィルタを適用した出力画像に対し領域ベースの Snake 法によるアマモ場抽出を行い、精度検証を行った。ガウシアンフィルタ適用後の、各撮影時期における領域ベースの Snake 法による最高抽出精度と、それに至るまでの試行回数を表したグラフを図-8 に示す。

図-8 ガウシアンフィルタ適用後の撮影時期ごとの最高精度と最適試行回数

図-8 より、どの撮影時期の画像においても試行回数 300 回までに最高精度での抽出が行えていることがわかる。試行回数 300 回における各撮影時期の画像での領域ベースの Snake 法によるアマモ場抽出精度を表したグラフを図-9 に示す。

図-9 試行回数 300 回における各観測時期での抽出精度

試行回数 300 での各撮影時期の精度は、図-10 における各撮影時期の最高精度とほぼ変わらない値を示しており、300 の試行回数で十分な性能を発揮して画像抽出を行っていることがわかる。以上より、領域ベースの Snake 法によりアマモ場航空写真からアマモ場画像を抽出する際には、ガウシアンフィルタを適用すれば 300 の試行回数で最高精度もしくはそれに近い精度が得られることがわかった。

8. 2016 年 8 月 8 日の画像に対する考察

2016 年 8 月 8 日に撮影された空撮画像では、ガウシアンフィルタ適用前と適用後共に、Snake 法での抽出精度が他と比較して低くなるという結果が得られた。

2016 年 8 月 8 日に撮影された空撮画像は、他の画像よりもより広範囲の海域を撮影しており、アマモ場の臨界点を画像内に収めることに成功している。2016 年 8 月 8 日に撮影されたアマモ場空撮画像を図-10、精度検証に用いた領域ベースの Snake 法によりアマモ場の画像抽出を行った画像と正解画像を重ね合わせたものを図-11 にそれぞれ示す。

図-10 2016 年 8 月 8 日に撮影したアマモ場空撮画像

9. まとめ

本研究では、領域ベースの Snake 法によるアマモ場抽出を行った。抽出を行うことで分かったことを述べていく。

領域ベースの Snake 法でのアマモ場抽出で、エネルギー関数の重みを表 3.2 のように設定し、 $\sigma=4$ のガウスフィルタを入力画像に適応しアマモ場抽出を実行すれば、300 回の試行回数で 88~90% の精度で抽出を行えることがわかった。また、閾値に輝度値を設定する、従来の二極的な抽出手法では一枚の写真に対するアマモ場の抽出に 8 時間ほどの時間を要していたが、領域ベースの Snake 法を用いることで 10 分程度に抑えられることがわかった。

参考文献

- 1) 池森貴彦, 東出幸真, 大慶則之, 仙北屋圭: 能登半島におけるガラモ場の現存量とガラモ場とアマモ場の分布域の再検討, のと海洋ふれあいセンター研究報告第 18 号, pp.1-5, 2012.
- 2) 京田純一, 桑江朝比呂: 現地観測データと衛星画像を用いた海藻藻場の分布域と被度の推定, 港湾空港技術研究所, p.12, 2012
- 3) 環境省: 藻場野復元に関する配慮事項, 2016-2-17, 公開資料, 2004(オンライン), <https://www.env.go.jp>, .
- 4) 紙屋翔平: ローカルリモートセンシングによるアマモ場植生の判別に関する研究, pp.11-20, 2016.
- 5) 生物多様性センター: 平成 26 年度東北地方太平洋沿岸地域植生・海域等調査 (5) 藻場・アマモ場分布調査, pp.13-15, 2015.
- 6) 由井俊太郎: LEVEL SET METHOD の高速化および医療画像への応用に関する研究, p.7, 2013.
- 7) MICHAEL KASS, ANDREW WITKIN, and DEMETRI TERZOPOULOS: Snakes: Active Contour Models, International Journal of Computer Vision 321-331, pp.1-3, 1988.
- 8) Tony F. Chan, Member, IEEE, and Luminita A. Vese: Active Contours Without Edges, IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, VOL. 10, NO. 2, FEBRUARY 2001, p.268, 2001.

(2017.2.2 受付)

図-11 2016年8月8日空撮画像の画像抽出結果

水深が深い部分は目視でもアマモ場の境界線が判別しづらく、領域ベースのSnake法でも画像抽出の精度が低下していることがわかる。しかし、目視での認識が難しい部分は従来の教師データを用いた解析は非常に困難であり、解析に多くの時間を要する。以上のような画像を短い解析時間で大まかな輪郭を出せるという点で、領域ベースによるSnake法は優れているといえる。

短時間でアマモ場分布解析が行える領域ベースのSnake法を用いれば、ある程度の精度での解析を大量に行うことができるので、機械学習などの学習データとして利用することで、目視での認識が難しいアマモ場での画像抽出の精度向上が期待できる。

IMAGE ANALYSIS OF EELGRASS FIELD BY USING SNAKES ACTIVE CONTOUR MODELS

Taiki SAWAI

Aerial photograph monitoring is used for evaluation of the eelgrass field. There is a problem with the method of extracting the eelgrass from RGB image by threshold method. Generally, this image analysis uses training data. This depends on the analytical accuracy and analysis time by the proficiency of the measurer. Therefore, in this research we use the snakes method used in the medical field. In this research, we tried applying this method to the aerial image of the eelgrass field.

As a result, it was confirmed that the eelgrass field can be extracted at a higher speed and accuracy of 80% than the conventional method.