

画像処理における画質改善手法の提案

東京理科大学 正会員 大林 成行
東京理科大学 正会員 小島 尚人
東京理科大学 学生員 桑原 祐史

1. はじめに

衛星リモートセンシングデータは、衛星の軌道や姿勢変動、センサの走査運動に起因する幾何学的歪、センサの感度不揃いに起因する放射強度歪、さらにはセンサ開口特性や撮像系の移動に起因するボケ (blur) を生じ、観測画像の画質が劣化している。従来からこれらの様々な劣化要因を取り除くため、数多くの画質改善手法が提案されている^{1)、2)}。しかし、手法によっては伝達関数の推定が困難であり、またかなりの処理時間を要する等の問題点があることは否めない。このような状況のもと著者らは一般に連立一次方程式の反復解法アルゴリズムとして知られるガウス・ザイデル法を用いた画質改善手法 (RGS法: the image Restoration method with Gauss-Seidel algorithm) を提案し、その簡便性と実用性を示してきた³⁾。

本手法では加速係数と装置関数といった2つのパラメータの値を与えるだけで様々な画質を持つ画像を容易にシミュレートすることができる。ここで加速係数とは反復解を求める際、その収束時間を調整する作用を持つものであり、装置関数とは伝達関数の線形モデルを決定づけるものである。しかし、衛星データは観測時期の違いにより補正対象画像が様々な画質を有するため、一意的にその伝達関数を設定することは困難である。このことから、RGS法を用いて画質改善処理を行う際、2つのパラメータの値をどの程度の値で設定すればよいのかをあらかじめ把握することは重要な問題となる。昨年度までの研究では2つのパラメータの値を次々と変化させることにより画像が「ぼけた状態 (補正前の状態) →見やすい状態 →高周波成分が卓越した状態」へと推移する様子を確認することによって、見やすさといった観点からパラメータの値を設定するにとどまった³⁾。しかし、本手法を用いて画質改善処理を施した画像を土地被覆分類やテクスチャ解析等、他の画像処理/解析に利用することを考慮すると「見やすさ」と同時に補正画像が観測画像の持つ情

報を維持していることが重要となる。そこで、本研究では画像の目視による視覚評価に加え、画像濃度値のヒストグラムに着目することによりRGS法のパラメータの設定問題に対して新たな検討を加えることを目的とする。

2. 本研究における画質改善処理の位置付け

著者らが開発してきたRGS法では、装置関数と加速係数という2つのパラメータの値を調整することによって様々な画質の画像をシミュレートできることから、処理画像を確認しながら画質の良好な画像を容易に絞り込むことができる。しかし、衛星データの画質改善問題を論ずる場合、次の2点について注意し、本研究で取扱う範囲を明確にする事を忘れてはならない。

①観測画像のスペクトル特性を維持しなくとも、利用目的に応じて適応的に画質を改善する。

②観測画像のスペクトル特性を維持しつつ、画像全体にわたって画質を改善する。

前者は一般に辺縁強調や平滑化処理等を含めて画像の「強調処理」と言われ、後者は観測対象の持つ真の情報 (これを推定することは困難である) をできる限り再生する意味から「画像復元」として扱われている。これらをまとめて広義には「画質改善」に含める場合もあるが、本研究は後者の画像復元を念頭においた処理に位置付ける。すなわち、RGS法による補正画像のシミュレーション過程において観測画像の情報を保存し、できる限り良好な画質改善効果を得ることを目的とする。

具体的には、画像濃度値のヒストグラムの形状の変化を確認しつつ、標準偏差の値が急変する状態を捉えることによってRGS法のパラメータの値を決定する。この方法は極めて簡便かつ自然なアプローチと言えるが、衛星データの画質改善 (狭義には画像復元も含む) を論ずる上での問題提起を含めて重要な意味を持つと言える。

3. 提案手法の検証

(1) 使用データおよび検討ケース

本研究で使用したデータは、1987年12月3日に観測されたMOS-1・MESSRデータ（PATH: 20、ROW: 69E）である。対象領域は茨城県土浦市を中心に西方には筑波学園都市、東方には霞ヶ浦を含み、一辺約12.8kmの正方形領域で切り出した。検討ケースは次の3ケースを設定した。

①ケース1: 画像の視覚評価およびプロフィールグラフを用いた評価によるパラメータの設定

②ケース2: ヒストグラムの形状の考察

③ケース3: ヒストグラムの標準偏差の変動および視覚評価を用いたパラメータの設定

なお、ケース1では紙面の都合で写真等は割愛する。また、プロフィールグラフ、ケース2およびケース3では可視緑色域に絞り記載することとする。シミュレーションおよびその結果の画像についてはスライドを用いて説明する。

(2) 処理結果および考察

①ケース1: 画像の視覚評価およびプロフィールグラフを用いた評価によるパラメータの設定

a) 画像の視覚評価によるパラメータの設定

本検討では装置関数の値を2に固定し⁹⁾、加速係数の値を0.04より0.01ずつ変化させる。検討を行った結果、加速係数の値が大きくなる程画像全体に「ごま塩状」のノイズ成分が現れてくることが判った。また、このノイズ成分が現れてくるに従って田のあぜ道や常磐自動車道といった線状構造や、霞ヶ浦周辺にある田等の面構造が破壊されて行く様子が確認された。以上の点を考慮し、シミュレーションを試行的に繰り返した結果、視覚的に最も見やすいと思われる画像の加速係数は $d = 0.04$ であると判断した。

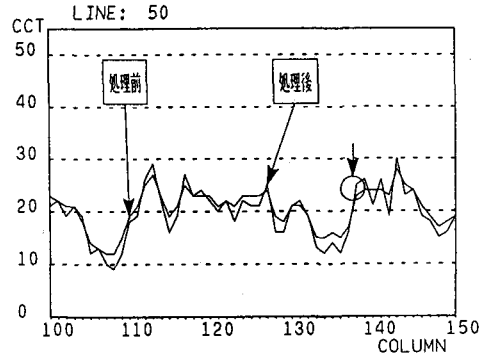
b) プロフィールグラフによる評価

ケース1 a)で行ったシミュレーションの画像に合わせ、プロフィールグラフを用い検討を加える。なお、紙面の都合上、加速係数の値を0.04から0.02ずつ変化させたものについてのみ記載する。図-1(a)~(c)から判るように加速係数の値が大きくなるに従ってプロフィールグラフの形状が徐々に成長することが判る。特に、図-1(a)内○印の部分に着目すると、観測画像のエッジを極だたせ、細い峰状の変動が強調されていることが判る。また、図-1(c)か

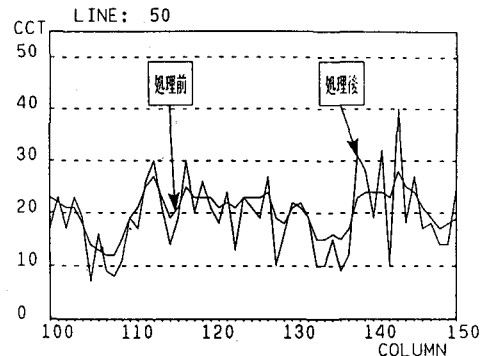
ら判るように、ガウス・ザイデル法の解が発散したこと起因し、画像内に「ごま塩状」のノイズ成分が発生することが裏付けられる。

②ケース2: ヒストグラムの形状の考察

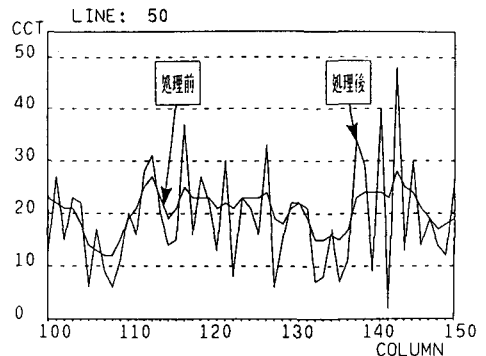
図-2(a)~(d)に画像濃度値のヒストグラム（可視緑色域）を示す。図から明らかのように、加速係数の値が大きくなるに従ってヒストグラムの形状がずそ広がり状になる。このことは、加速係数の値によって処理画像の持つスペクトル特性が大きく変化する



(a) 加速係数: $d = 0.04$

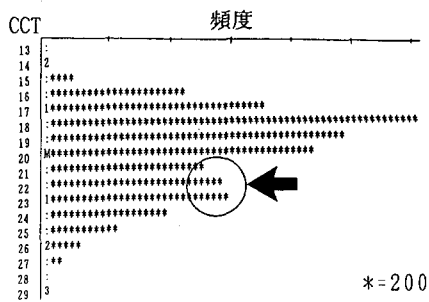


(b) 加速係数: $d = 0.06$

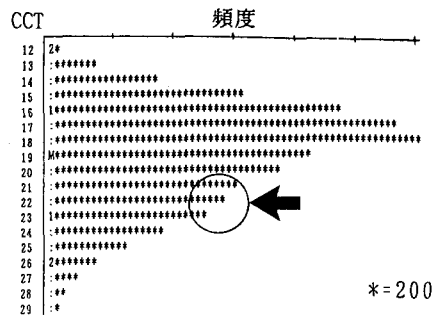


(c) 加速係数: $d = 0.08$

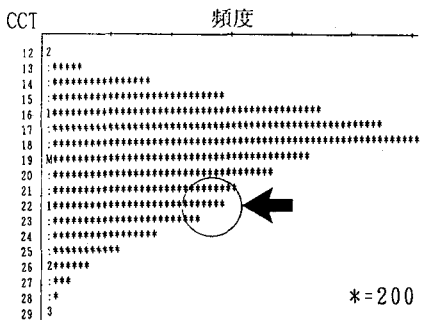
図-1 プロフィールグラフの変動



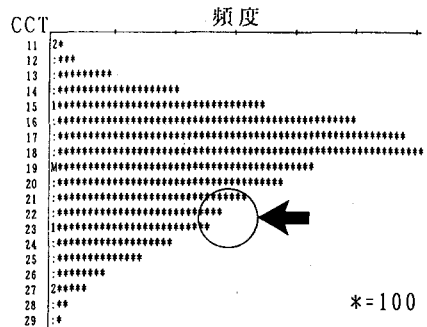
(a) 観測画像



(c) 加速係数 : $d = 0.04$



(b) 加速係数 : $d = 0.03$



(d) 加速係数 : $d = 0.05$

図-2 画像濃度値のヒストグラム

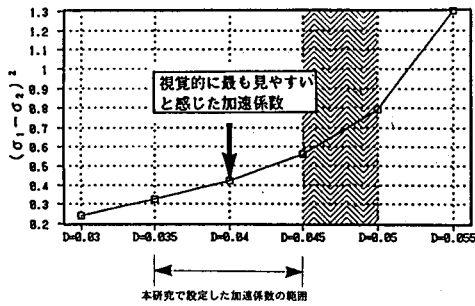
ことを意味している。さらに詳細に見ると、図- (a) の○印で示した箇所等では加速係数の値が大きくなるに従ってもとの特徴が失われることが判る。このことから観測画像の持つ情報を維持しつつ画質を改善することの重要性が伺える。なお、可視赤色域、近赤外域については割愛したが検討の結果同様の傾向が得られている。

③ケース3: ヒストグラムの標準偏差の変動および視覚評価を用いたパラメータの設定

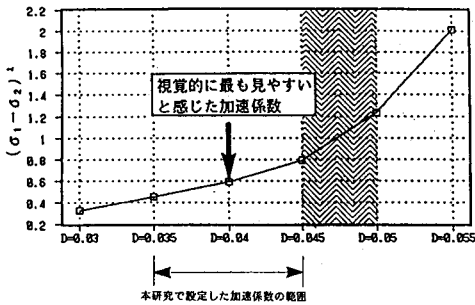
図-3 (a) ~ (c) は、縦軸に観測画像のヒストグラムの標準偏差 σ_1 とRGS法を用いて画質改善処理を行った画像のヒストグラムの標準偏差 σ_2 の差の平方 $(\sigma_1 - \sigma_2)^2$ を、横軸に加速係数の値を取りグラフ化したものである。図-3では、加速係数 : $d = 0.045 \sim 0.05$ 付近においてグラフの「変化量(傾き)」が急変していることが判る。このことから、加速係数が 0.045 より小さい値を取ることにより、観測画像の持つ情報を保存している処理画像を作成

できると言える。

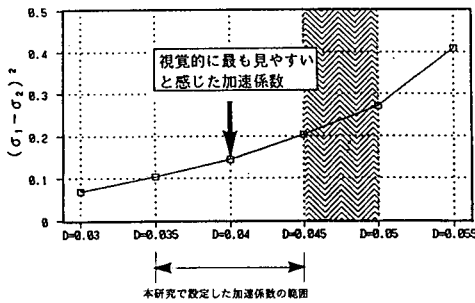
次に視覚評価に基づき設定した加速係数と、ヒストグラムの標準偏差の変動との関係について考察する。図-3 (a) ~ (c) では、ケース1 a) の検討により設定した視覚的に最も見やすいと判断された画像のパラメータの値が矢印で示してある。この矢印に着目すると、全てのバンドにおいて標準偏差が急激に変化する前の状態を示している事が判る。前述した考察にも述べた様に、加速係数が 0.045 より小さい値であれば処理画像が観測画像の持つ情報を維持している状態にあると言える。このことから、本研究で目的とする画像は、視覚評価により決定したパラメータの値と図-3内ハッチング部分との間に存在すると考えられる。しかし、画像の視覚評価により決定した加速係数と、標準偏差が急激に変化した箇所には若干のズレが生じていることが判る。このズレは、各個人により視覚特性が異なるといったことに起因する。このことから本研究では一意的にパラメータの値を決定するの



(a) 可視緑色域



(b) 可視赤色域



(c) 近赤外域

図-3 標準偏差の変動

ではなく、観測画像の情報を維持している範囲において幅をもたせてパラメータの値を設定することとした。また、地上分解能の異なるTMおよびHRVデータに対し同様の傾向が得られることも確認している。

以上の検討を踏まえ、本研究で設定した加速係数の値は、表-1に示す通りである。

4. 研究の成果

本研究の成果は次の3点に整理できる。

表-1 本研究で決定したパラメータの値

衛星データ	加速係数	装置関数
M E S S R	d = 0.035 d = 0.045	2
T M	d = 0.035 d = 0.050	2
H R V	d = 0.045 d = 0.055	2

注1) 各データ全てのバンドもこの値の範囲で設定すれば良好な画質改善効果が得られる。

注2) このパラメータの値は本研究の評価対象領域のものである。

①画像の強調と復元処理を含め、衛星データの画質改善問題を論ずる上での留意点を整理した。

②RGS法による補正画像のシミュレーション過程において観測画像の情報を保存し、できる限り良好な画質改善効果を得ることを目的に研究を進めた。その結果、画像濃度値のヒストグラムの形状の変化を確認しつつ、標準偏差の値が急変する状態を捉えてRGS法のパラメータの値を決定するに至った。

③地上分解能の異なる衛星データ(MESSR、TM、HRV)に対しても、②の方法を通じて適切なパラメータの値を決定できることが判った。

画質の改善/評価に関する問題を扱った研究は数多く、画質の評価方法一つをとって見ても多くのものがある。様々な画質の画像をシミュレートできるRGS法の特長を生かし、近年種々の科学分野で注目されつつある「フラクタル次元」や「ゆらぎ(1/f)」と画質の関係等について検討することも興味ある課題と言える。

【参考文献】

- 1)谷萩隆嗣、加藤洋一、篠崎已知夫：2次元ウィナーフィルタに基づいた反復推定アルゴリズムによるボケ画像の復元、電子通信学会論文誌(D)、J64-D、2、PP.156~PP.163、1981.
- 2)Steven, A.R., Zucker, W., and A. Rosenfeld, :Iterative, enhancement of noisy images, IEE, Trans. Syst. Man and Cybern, SMC-7, 6, PP. 435-PP. 442, 1977.
- 3)T. Tiyip, 小島尚人、大林成行:衛星マルチスペクトル画像の画質改善手法の提案、日本リモートセンシング学会誌、VOL. 12, No. 2, PP. 5~PP. 19, 1992.