

NOAA/AVHRR データに基づく NDVI の較正誤差の推定
Estimation of calibration error of
NDVI based on NOAA/AVHRR data

○ 福田圭介*, 丹波澄雄*

○ Keisuke Fukuda*, Sumio Tanba*

*弘前大学

*Hirosaki University

キーワード：正規化植生指標(NDVI: Normalized Difference Vegetation Index), 較正係数 (Calibration coefficient), LTDR(Long term Data Record), 宇宙空間観測値(Space Count)

連絡先：〒036-8561 青森県弘前市文京町3 弘前大学大学院 理工学研究科 丹波研究室

Tel:(090)-2023-9607 E-mail : h08gs410@stu.hirosaki-u.ac.jp

1. はじめに

NOAA 衛星はアメリカ海洋大気庁 (NOAA) によって 1979 年より継続的に打ち上げ及び運用が行われている気象観測衛星である。NOAA 衛星に搭載されている改良型高分解能放射計 (AVHRR: Advanced Very High Resolution Radiometer) は可視域, 近赤外域, 中間赤外域, 熱赤外域に感度を持つセンサであり、打ち上げ当初より現在に至るまでほぼ同一のスペックのまま観測に用いられてきたため、長期間に渡る地表面の変化を得るのに適している。AVHRR は、当初はセンサの経時変化を考慮せずに打ち上げ前 (Pre Launch) の室内測定データに基づ

いた放射量較正が行われてきたが、経時変化による感度特性の変化に関する研究が進んだことにより、アメリカの NASA の LTDR プロジェクト¹⁾が AVHRR の較正式を公開している。また、オーストラリアの研究機関 CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization) の CalWatch プロジェクトでも独自に求めた較正式を公開している (CSIRO/CalWatch)²⁾が、それぞれの係数に基づいた較正結果は必ずしも一致するとは限らない。本研究では較正係数の違いによって NOAA/AVHRR データから得られる NDVI の誤差の特性について報告する。

2. 正規化植生指標 (NDVI: Normalized Difference Vegetation Index) とは

NDVI は植物の分光反射特性における可視域 (VIS) と近赤外域 (NIR) の特徴的な反射率を利用した指標であり、NDVI の値が高いほど植生が多いことを示している。

NDVI は以下の(1)式によって定義される。

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{VIS}}{R_{NIR} + R_{VIS}} \quad (1)$$

R_{NIR} : 近赤外域の反射率, R_{VIS} : 可視域の反射率

3. 可視域・近赤外域の放射量較正

AVHRR の可視域・近赤外域の放射量較正式は (2) 式で表される。

$$A_i = G_i \times X_i + I_i \quad (2)$$

ここで、 G : 較正係数, I : 切片, X : カウント値, A : 反射率 (%アルベド), i : チャネル番号 (1 : 可視域 (VIS), 2 : 近赤外域 (NIR)), である。

NASA/LTDR により公開されている較正式は (3) 式で表される。

$$A_i = F_i(D) \times X_i + I_i \quad (3)$$

ここで、 F : 高次多項式 (次数は衛星毎に異なる) は (4) 式で表される。

$$F(D) = \sum (C_j \times D^j) \quad (4)$$

ここで、 C : 高次多項式係数, j : 高次多項式次数 (0~n), n : 高次多項式係数の最大次数, D : 打ち上げ年の 1 月 1 日を基準日とした観測日までの経過日数である。

また、CSIRO/CalWatch により公開されている較正式では D の代わりに D' : 衛星打ち上げ日からの経過日数 (Lapsed Days) が用いられており、切片 I の元となる宇宙空間の観測値も期間毎に 1 次式の形で公開されている。

現時点で公開されている NOAA-7 号の較正式の高次多項式係数を Table.1 に、また CSIRO/CalWatch によって公開されている宇宙空間の観測値の推定式の係数を Table.2 に示す。

Table.1 較正式の高次多項式係数 (NOAA-7 号)

| | Order | C0 | C1 | C2 | C3 | Source |
|--------------|-------|-----------|-----------|------------|------------|--------------------|
| Ch1 (VIS) | 3 | 1.098E-01 | 3.182E-06 | 6.462E-09 | -1.133E-13 | LTDR |
| | 3 | 1.100E-01 | 1.111E-05 | 5.610E-10 | 1.888E-14 | Rao&Chen |
| | 3 | 1.105E-01 | 6.489E-06 | 3.930E-06 | 1.337E-12 | Vermote&El Saleous |
| | 0 | 1.068E-01 | | | | Pre Launch |
| Ch2 (IR) | 3 | 1.133E-01 | 4.448E-05 | -3.352E-08 | 1.229E-11 | LTDR |
| | 3 | 1.169E-01 | 1.403E-02 | 8.417E-10 | 3.367E-14 | Rao&Chen |
| | 3 | 1.199E-01 | 3.549E-05 | -3.054E-08 | 1.426E-11 | Vermote&El Saleous |
| | 0 | 1.069E-01 | | | | Pre Launch |

$$F(D) = C0 + C1 \times D + C2 \times D^2 + C3 \times D^3$$

Table.2 CSIRO/CalWatch により公開されている宇宙空間観測値の推定式 (NOAA-7 号)

| 係数の有効期間 | | 推定式の係数 | | | |
|------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| From | To | Ch1 | | Ch2 | |
| | | C0 | C1 | C0 | C1 |
| 1981.6.23 | 1981.12.31 | 3.617E+01 | -9.980E-04 | 3.819E+01 | -1.561E-03 |
| 1982.1.1 | 1982.12.31 | 3.598E+01 | -7.646E-04 | 3.789E+01 | -1.246E-03 |
| 1983.1.1 | 1983.12.31 | 3.570E+01 | -4.588E-04 | 3.744E+01 | -8.348E-04 |
| 1984.1.1 | 1984.12.31 | 3.554E+01 | -1.525E-04 | 3.713E+01 | -4.226E-04 |
| Pre Launch | | 3.75E+01 | | 3.96E+01 | |

$$SpaceCount = C0 + C1 \times D' \quad (D': \text{観測年の1月1日から観測日までの経過日数})$$

以後、NASA/LTDR の較正係数を G_{LTDR} , Rao&Chen の較正係数を $G_{R\&C}$, Pre Launch (打ち上げ前の測定値) の較正係数を G_{Pre} とする。また、CSIRO/CalWatch の推定式による切片を I_{var} (可変), Pre Launch による切片を I_{Pre} (固定) とする。

4. NDVI 誤差の算出

Fig.1 は Table.2 に基づいて作成された LTDR 較正式と他の較正式との較正係数の比の変化を示したグラフであり、横軸は打ち上げ日からの経過日数となっている。

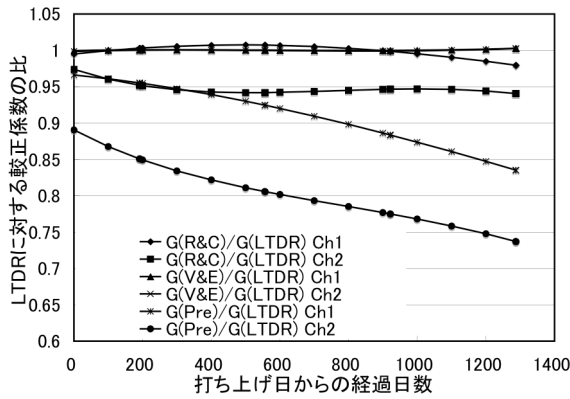


Fig. 1 LTDR に対する校正係数の比の経過日数による変化

Fig.1 より、LTDR と Pre Launch では Ch1 で 15%以上、Ch2 で最大 25%以上の校正係数の差異が存在している。この校正係数の差異によって、NDVI に差異が発生する。よって、ある与えられた校正式を用いてカウント値 X_1 , X_2 の取り得る範囲の値を反射率 A_1 , A_2 に変換し NDVI($NDVI_A$)を計算する。同一のカウント値により計算された他の校正式の NDVI($NDVI_B$)との差異を求め、これを NDVI 誤差($\Delta NDVI$: $\Delta NDVI = NDVI_B - NDVI_A$)と定義する。また、すべてのカウント値において得られた NDVI 誤差の平均を NDVI 平均誤差と定義する。

4.1 校正係数の差異に起因する NDVI 誤差の特徴

経時変化の特性を調べるため、Fig.1 よりグラフの変化が特徴的な 6 点 ($D=1, 100, 200, 500, 1000, 1288$) を選び出し、それぞれの点において NDVI 平均誤差を算出する。Fig.2 は横軸を打ち上げ日から観測日までの経過日数、縦軸を LTDR に対する各校正式の NDVI 平均誤差として両者の関係を示したグラフである。なお、切片は I_{Pre} (固定) を用いる。

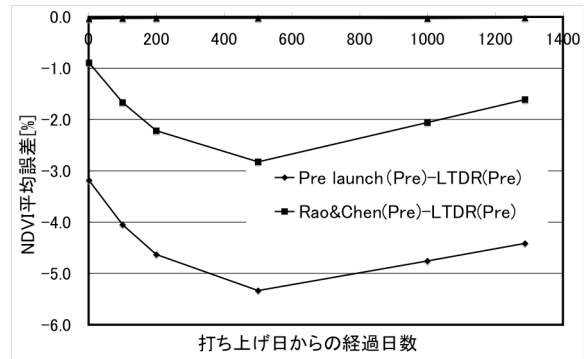


Fig. 2 打ち上げ日からの経過日数と NDVI 平均誤差の関係

Fig. 2 より、打ち上げ日からの経過日数によって NDVI 平均誤差の値は変化し、また、校正係数の差異に起因する NDVI 平均誤差が最小となるのは打ち上げ 1 日後、最大となるのは打ち上げ 500 日後であるということが判った。

次に NDVI 誤差の特徴を調べるため LTDR の校正係数(G_{LTDR})によって求められた NDVI の値に対して 1%毎に NDVI 平均誤差を算出する。Fig.3 は横軸を G_{LTDR} による NDVI ($NDVI_{LTDR}$)、縦軸を NDVI 誤差 ($\Delta NDVI$) として 1%~5%, 6~10%, 11%~20%, ..., 91%~100% の 11 区間において誤差の統計値を求めたグラフである。

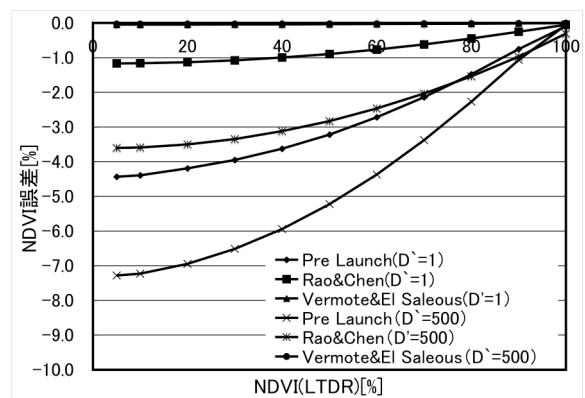


Fig. 3 LTDR を基準とした NDVI 値と NDVI 誤差の関係

Fig3にはNDVI平均誤差が最小となる打ち上げ1日後及び最大となる500日後の結果が示されており、両日ともNDVIが小さいほどNDVI誤差が大きいという特徴が見られる。

4.2 切片 I の差異に起因する NDVI 平均誤差の特徴

Fig.4 は切片 I の元となる宇宙空間の観測値 (Space Count) の打ち上げ前のカウント値, Table.2 によって示されている CSIRO/CalWatch の推定式によるカウント値の, 打ち上げ日からの経過日数による変化を示したグラフである。

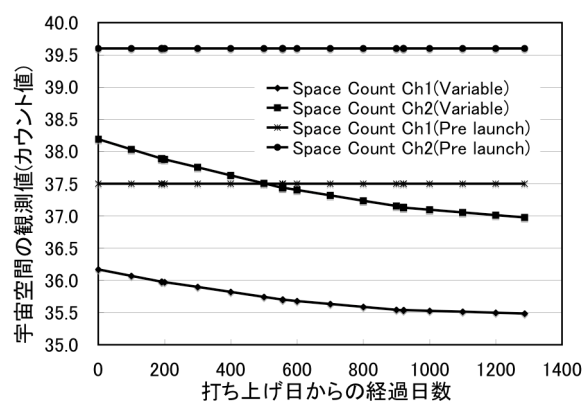


Fig. 4 宇宙空間観測値の経過日数による変化

Fig.4 より CSIRO/CalWatch により公開されている宇宙空間の観測値は Ch1, Ch2 共に打ち上げ前の測定値よりも低い値となっている。この宇宙空間の観測値の差異によっても NDVI 誤差は発生する。Fig.5 は、同一の較正係数において切片 I を I_{Pre} (固定) と I_{var} (可変) とした場合の NDVI 平均誤差と打ち上げ日からの経過日数の関係を示したグラフである。

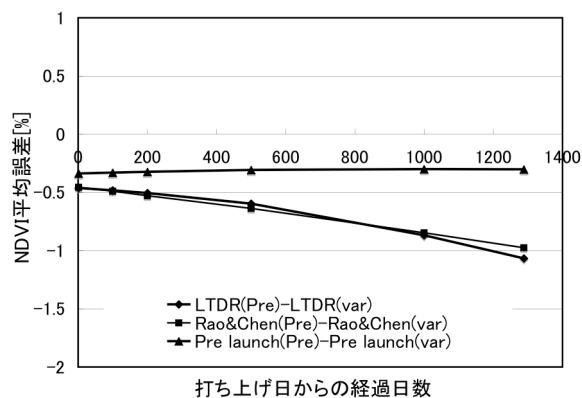


Fig. 5 切片 I の差異に起因する NDVI の平均誤差

G_{LTDR} (LTDR 係数)及び $G_{R\&C}$ (Rao&Chen 係数)では、同一の係数間において最大で 1%程度の NDVI 平均誤差が発生することが確認できる。また、 G_{Pre} (Pre Launch 係数)では切片 I の差異に起因する NDVI 誤差は 0.5%以下となっている。

4.3 較正式の較正係数 G, 切片 I が共に異なる場合の NDVI 平均誤差

4.1 及び 4.2 節においては較正式の較正係数 G, または切片 I いずれか的一方を固定として、公正係数 G 及び切片 I 単独の差異に起因する NDVI 誤差の特徴を調べた。本節では Pre Launch(G_{Pre} , I_{Pre})を用いて放射量較正を行った観測データと、較正係数 G, 切片 I が共に変化する場合の NDVI 誤差を推定する。

Fig.6 は較正係数 G, 切片 I 共に可変の時の Pre Launch に対する NDVI 平均誤差と経過日数の関係を示したグラフである。

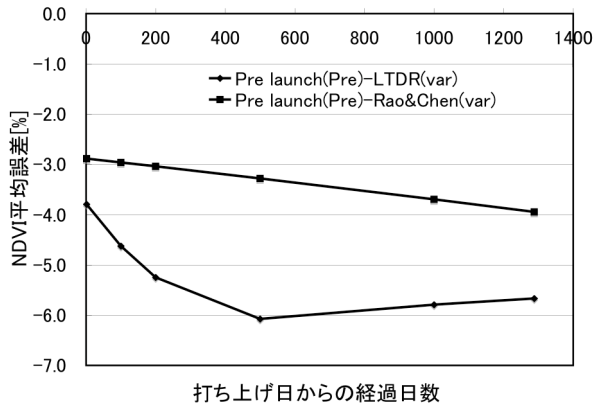


Fig. 6 較正係数 G, 切片 I が共に異なる場合の NDVI 平均誤差の経過日数による変化

Fig.6 より, Pre Launch によって求められた NDVI に対して、較正係数 G を G_{LTDR} または $G_{R\&C}$, 切片 I を I_{var} とした場合の NDVI では、両者の間でより NDVI 平均誤差が大きくなる。また、 G_{LTDR} と $G_{R\&C}$ においても NDVI 平均誤差に差異があることが確認できる。

Fig.7 は較正式の切片が I_{var} である時の G_{LTDR} と $G_{R\&C}$ の NDVI 平均誤差と経過日数の関係を示したグラフである。

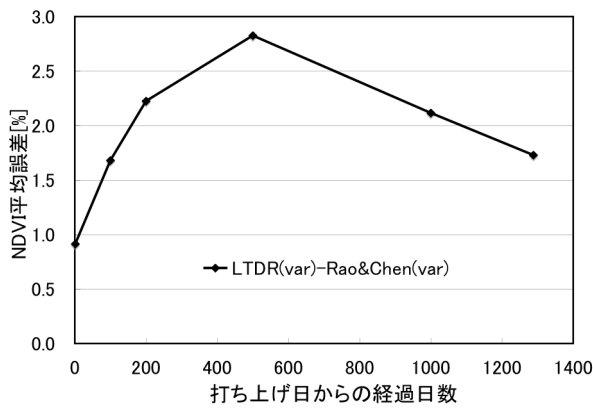
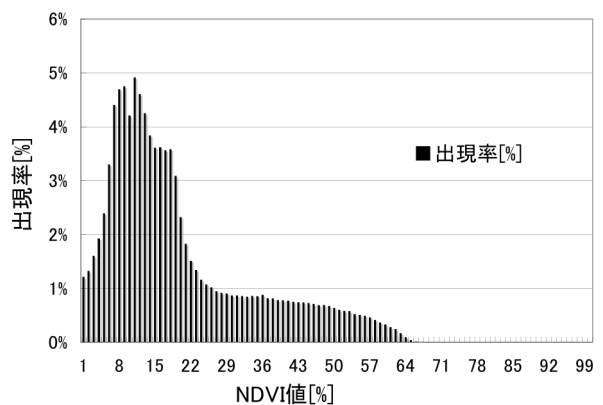


Fig. 7 LTDR, Rao&Chen 間の NDVI 平均誤差の経過日数による変化

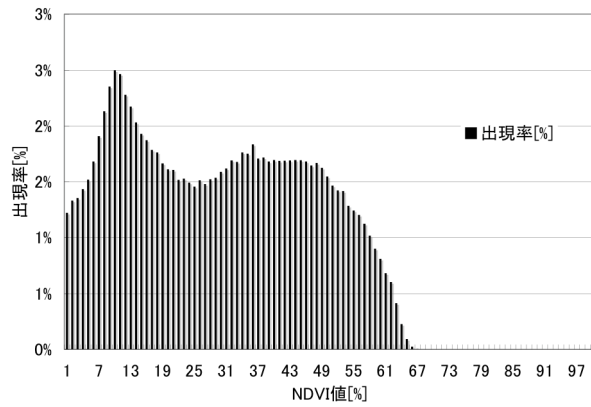
Fig.7 より, LTDR と Rao&Chen の較正係数間においても最大で 2.5%を超える NDVI 平均誤差が発生することが確認できる。

4.4 実際の観測データを利用した NDVI 平均誤差の重み付け

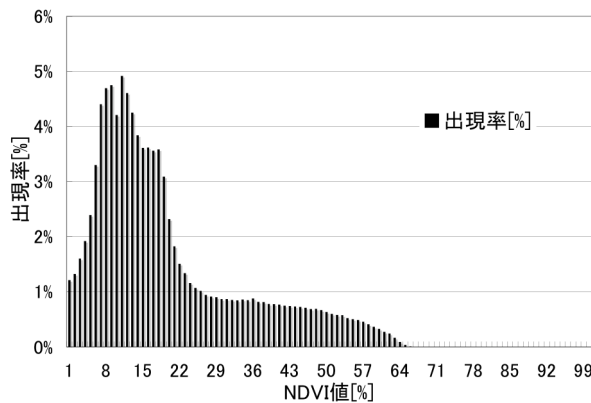
Fig.2 より, NDVI 誤差は NDVI 値によって異なることが判った。よって、実際の観測データにより得られた NDVI の統計量を用いて, NDVI 誤差に重み付けを行い, より現実的な NDVI 平均誤差を推定する。季節の変化により NDVI の統計量が変化することを考慮し, 春夏秋冬の3季節の NOAA/AVHRR データを用いて重み付けを行い, NDVI 誤差を推定する。重み付けに用いた NOAA/AVHRR データは, 春として NOAA-7 号 1984 年 4 月 24 日 14 時 (A), 夏として NOAA-11 号 1998 年 8 月 18 日 14 時 (B), 秋として NOAA-14 号 1998 年 10 月 30 日 14 時 (C)である。また, (A),(B),(C)の NDVI を集計した値を通年の NDVI の分布データ(D)として用いる。使用する観測データは輝度温度による雲域画素の除去を行い, さらに NDVI 値が 1% 以下の画素を除外し, 海岸線情報を用いて陸域のみを抽出したものである。



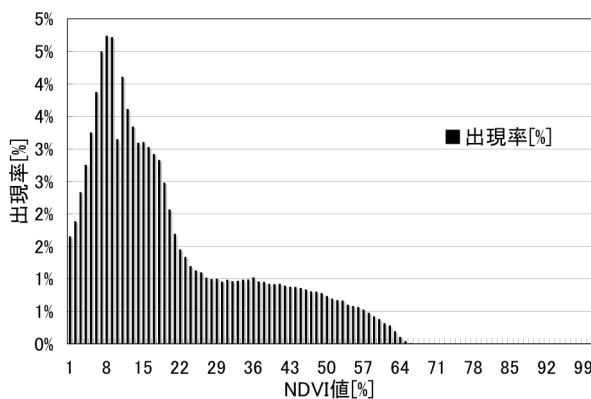
(A) NOAA-7 1984/4/24 14 時の観測データによる NDVI 統計量



(B) NOAA-11 1998/8/18 14 時の観測データによる NDVI 統計量



(C) NOAA-14 1998/10/30 14 時の観測データによる NDVI 統計量



(D) 統計量(A), (B), (C)の和

Fig. 8 重み付けに用いた NOAA/AVHRR 画像のヒストグラム

Fig.9 は LTDR の較正式に対して、(D)による重み付けを行った NDVI 平均誤差の、経過日数による変化である。なお、切片 I の変化に起因する NDVI 誤差を除外するため、I の値は I_{Pre} とした。

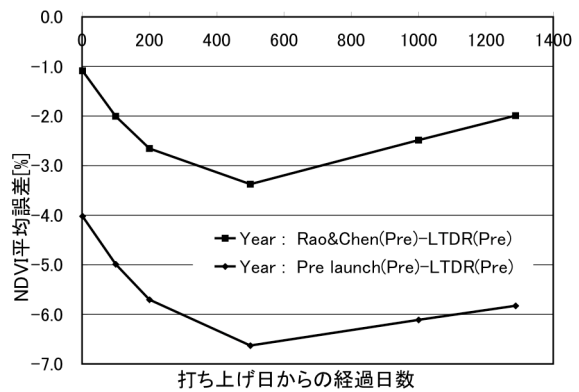


Fig. 9 通年の NDVI 統計値を用いて重み付けを行った NDVI 平均誤差の経過日数による変化 (I=Pre Launch)

Fig.9 では Fig.2 に対して Pre Launch の場合で NDVI 平均誤差が最大 1%増加している ($D=1,288$)。

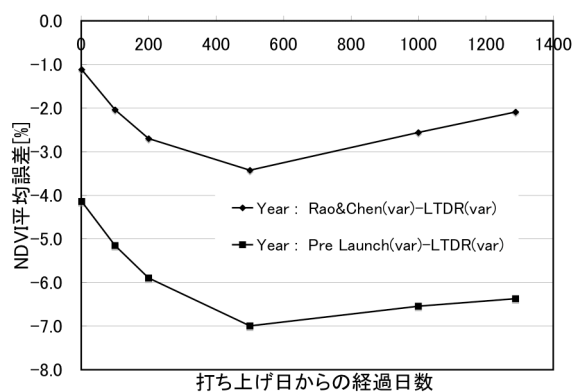


Fig. 10 通年の NDVI 統計値を用いて重み付けを行った NDVI 平均誤差の経過日数による変化 (I=Variable)

Fig.10 は、LTDR の較正式に対し (D) による

重み付けを行った NDVI 平均誤差の, I を I_{var} とした場合の経過日数による変化である。Fig.9 と比較して Pre Launch では NDVI 平均誤差が大きくなっている。一方, Rao&Chen では平均誤差にあまり差異はない。次に, 季節の変化による NDVI 統計量の変化によって平均誤差がどの程度変化するかを調べる。Fig.11 は各季節の NDVI 統計量を用いて重み付けを行った Pre Launch 較正式の, LTDR 較正式に対する NDVI 誤差を示したグラフである。なお, I は I_{var} とする。

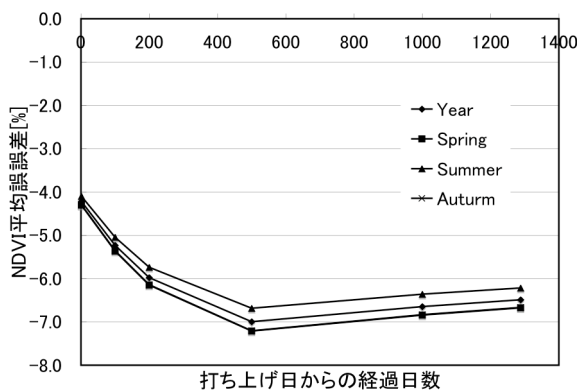


Fig. 11 季節の差異による NDVI 平均誤差の変動と経過日数の関係

各季節の NDVI 統計量による重み付けを行った場合の NDVI 平均誤差の差異は最大でも 0.5%程度であることが確認できる。Table.3 に, 前述の 6 点において重み付けを行った場合の各季節の NDVI 平均誤差を示す。

Table. 3 重み付けされた NDVI 平均誤差の季節による差異

| Lapsed Days | Pre Launch[%] | | | | Rao&Chen[%] | | | | Vermote&El Saleous[%] | | | |
|-------------|---------------|--------|--------|-------|-------------|--------|--------|-------|-----------------------|--------|--------|-------|
| | Spring | Summer | Autumn | Year | Spring | Summer | Autumn | Year | Spring | Summer | Autumn | Year |
| 1 | -4.22 | -3.72 | -4.24 | -4.02 | -1.14 | -1.02 | -1.14 | -1.09 | -0.05 | -0.04 | -0.05 | -0.04 |
| 100 | -4.99 | -4.62 | -5.25 | -4.99 | -2.00 | -1.88 | -2.09 | -2.00 | -0.03 | -0.03 | -0.04 | -0.03 |
| 200 | -5.99 | -5.28 | -6.01 | -5.70 | -2.77 | -2.49 | -2.77 | -2.66 | -0.03 | -0.03 | -0.03 | -0.03 |
| 500 | -6.98 | -6.10 | -7.00 | -6.63 | -3.51 | -3.17 | -3.51 | -3.37 | -0.03 | -0.03 | -0.03 | -0.03 |
| 1000 | -6.11 | -5.54 | -6.52 | -6.11 | -2.48 | -2.32 | -2.60 | -2.48 | -0.03 | -0.03 | -0.03 | -0.03 |
| 1288 | -6.23 | -5.22 | -6.26 | -5.83 | -2.09 | -1.85 | -2.09 | -1.99 | -0.01 | -0.02 | -0.01 | -0.02 |

5.まとめ

本研究では NOAA-7 号に対して NASA の LTDR プロジェクト, Pre Launch 及び CSIRO の CalWatch プロジェクトによって公開されている Vermote&El Saleous と Rao&Chen のそれぞれの較正式の差異によって生じる NDVI の誤差の特徴を調べた。

較正係数の差異に起因する NDVI 誤差の結果から, 全ての較正式において NDVI が LTDR より低く評価されていることが判った。また, Vermote&El Saleous と LTDR の結果は非常に類似していた。LTDR と Pre Launch では打ち上げ後の経過日数 500 日において NDVI 誤差が 5%以上になっている。また, Rao&Chen と LTDR では最大で約 3%の誤差がみられる。

切片 I の差異に起因する NDVI 誤差の結果から, 同一の較正式において切片 I が固定(I_{Pre})である場合と可変(I_{var})である場合に, LTDR, Rao&Chen では NDVI 平均誤差が最大で約 1% 変化する。一方較正係数 G が Pre Launch の場合では切片 I が変化してもほとんど NDVI に差異は発生しない。

較正係数 G が Pre Launch で切片 I が I_{Pre} , 較正係数 G が LTDR または Rao&Chen であり切片 I が I_{var} である場合の NDVI 誤差では, LTDR の場合には Pre Launch に対して最大で約 6%の NDVI 平均誤差が発生する。Rao&Chen の場合においても最大で約 4%の NDVI 平均誤差が発生する。

NDVI 誤差への重み付けでは, NDVI 平均誤差は重み付けを行った場合と行わなかった場合で Rao&Chen において最大で 0.5%, Pre Launch の場合は最大で約 1.5%の誤差が発生する。また, 重み付けを行った場合の季節変動による NDVI 平均誤差の差異は 0.5%以下であり,

Pre launch の場合は最大で 1%程度である。また、季節の差異による NDVI 平均誤差の差異は、較正式の差異そのものに起因する NDVI 誤差よりも小さい。従って NOAA-7 号の場合では、較正係数 G 及び切片 I に Pre Launch の値を用いて得られた NDVI 画像を利用するとき、LTDR に対して NDVI 値は最大で 7.5%程度低めに現れていることを考慮すべきであると言える。

今後は他の号数の NOAA 衛星に対する解析を行う予定である。

5. 参考文献

1) NASA/LTDR

<http://ltdr.nascom.nasa.gov/ltdr/ltdr.html>

2) CSIRO/CalWatch

<http://www.eoc.csiro.au/cats/calwatch/>