

# クレメンタイン画像からの画質情報抽出の試み - より高精度なデータ利用のために -

寺園淳也 (財)日本宇宙フォーラム  
齋藤 潤 西松建設(株)技術研究所

Evaluation of image quality information of  
Clementine data

-For further utilization of lunar data-

Jun-ya TERAZONO (Japan Space Forum)  
Jun SAITO (NISHIMATSU Construction Co., Ltd)

## Abstract

**分**光画像から月表層の岩相を探る試みは、特にアメリカのクレメンタイン衛星が200万枚以上もの大量の分光画像データを取得したことから、近年着実に進められてきている。また、日本においてはSELENE計画が立案されており、ここでは月全体にわたってより高精度の分光データを取得する計画となっている。

**し**かし、クレメンタインの画像についてはダイナミックレンジに乏しく、256階調画像であるにも関わらず有効なダイナミックレンジは3~4程度しかないというケースが多くみられる。また、分光画像解析についても、*photometric correction*に使用されているパラメータが充分確定しているとは言えず、特に*phase-angle*が小さいデータについて不確定要素が残っている。今後、月においてサイエンス、開発・利用の双方から、月の岩相についてより高精度のデータが必要となると考えられる。一方で、サンプルリターンによる月の広範囲の物質情報が得られるのはかなり先であろう。そのため、より信頼性の高い探査を行うために、幾つかの地域について様々なデータを総合して調査することで、月地質調査のための基準地域を設定する事が必要と考えられる。

**我**々は現在利用可能なデータを総合して、どこの地域に最も多く、そして信頼性の高いデータがあるのかを探し、その地域についてデータセットを作成する事を提案したい。現在、そのための第1段階のアプローチとして、月の分光グローバルマッピングデータであるクレメンタイン探査機のデータを題材に、画質を表現するパラメータにはどのようなものがあるかを、画像データのヘッダに含まれるデータから調べている。クレメンタインの画像データのヘッダには、標準偏差、圧縮率、最大輝度値、最小輝度値など様々な画質に関係したデータが含まれている。Clementine CD\_ROMのデータから、これらをperlスクリプトを使用して抽出し、これらの相関関係などを調査した。またさらに画像からの情報抽出に大きく影響する太陽高度 (*illumination geometry*) に関してもその補正ルーティンについて検証を行った。

## 画質パラメータの抽出

- 画質評価の作業は、宇宙科学研究所の固体惑星グループが所有するコンピュータ、及びCD-ROMチェンジャを使用し  
て行われた。
- 評価に使用した画像は、Clementineミッションにおいて得られた画像を収めた、Clementine raw image collection  
全88枚である。このCD-ROMにおいては、画像はPDS (Planetary Data System)のversion 3形式で収められている。  
この画像ファイルは、先頭に画像情報を表すヘッダ、そのあとに実際の画像データが並ぶ形になっている。
- 本CD-ROM全てに含まれる画像ヘッダから、画像についての基本的な情報、画質を表すと思われる情報、及び  
Photogeologyの観点から重要であると思われる次の情報を抽出した。

画像の中心緯度 (CENTER\_LATITUDEヘッダ)、中心経度 (CENTER\_LONGITUDEヘッダ)  
標準偏差 (STANDARD\_DEVIATIONヘッダ)  
圧縮率 (ENCODING\_COMPRESSION\_RATIOヘッダ)  
輝度値の最小値 (MINIMUMヘッダ)、最大値 (MAXIMUMヘッダ)  
入射角 (INCIDENCE\_ANGLEヘッダ)、位相角 (PHASE\_ANGLEヘッダ)、射出角 (EMISSION\_ANGLEヘッダ)  
画像ゲイン (GAIN\_MODE\_IDヘッダ)

なお、ヘッダからの情報抽出を行うプログラムはPerlスクリプトとなっている。

- さらに、ファイル及びヘッダの情報を加工し、次のデータも作成した。

ファイルの大きさ (ヘッダ及び実データを含む、ファイル自体のサイズ)  
色差 (MAXIMUMヘッダとMINIMUMヘッダの数値の差)

- ヘッダ切り出しの作業は、UNIXのシェルスクリプトなどを使用している。また、各CD-ROMを読み出すためのCD-ROM  
オートチェンジャプログラムは、C言語を使用して作成している。  
このように、本作業に使用したシステムは、大量の情報を処理し、かつ今後の変更の際しても柔軟な対応ができる  
形になっている。

# 画質の評価基準

今回は、Clementineの画像について、緯度別、ゲイン別での評価を行った。評価の指標には、色差と標準偏差を使用している。

ここでは、色差とは、画像内に含まれる輝度値(DN値)のうち最大のものと最小のものとの差であると定義する。一方、標準偏差は、ある画像に含まれる輝度値の分布の度合を表した値である。

## 色差が小さく、標準偏差も小さい画像

色の分布は極めて狭い範囲に偏っていると考えられる。従って、画像のダイナミックレンジは乏しく、画質が高いとは考えられない。

## 色差が大きく、標準偏差は小さい画像

極端に輝度が高いピクセルと輝度が極端に低いピクセルがある。輝度値の広がりが小さいため、分布を広げる画像処理(ストレッチング)を行うことにより、画質を高められる可能性がある。

## 色差が小さく、標準偏差は大きい画像

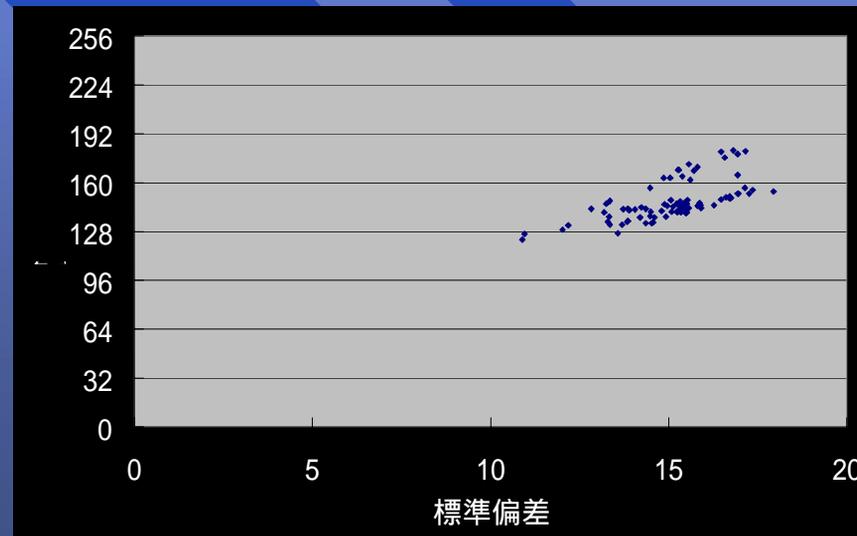
画像としてはいろいろな輝度値を適当な割合で含むと考えられ、画質のよい画像である可能性がある。但しあまりに色差が小さい場合には、ほぼ同じような輝度値となっている恐れもある。

## 色差も大きく、標準偏差も大きい画像

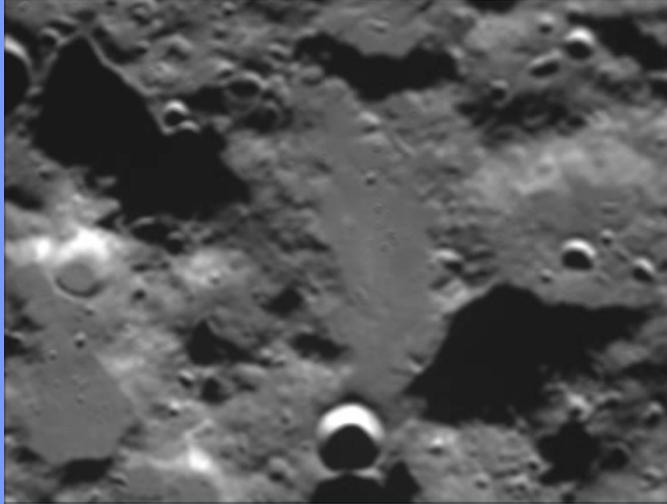
極端な値の輝度値が含まれる可能性もあるが、画質は高い可能性がある。月の場合では、海と高地のような異なる輝度値傾向を持つ領域を撮影したものである可能性がある。

## 色差と標準偏差の関係

- 全CD-ROMについて色差と標準偏差の平均をCD-ROM単位で算出し、それをプロットしたのが下の図である。Clementineの画像は8ビット(256階調)で表されているから、256以上の色差はあり得ない。
- これを見ると、クレメンタインの画像は2つの系統に分かれることがわかる。すなわち、色差は比較的大きいグループと、色差が小さいグループである。前者はPre-mapping Phaseのように画質の調整が比較的うまくいっていなかったものと考えられる。
- Clementine全体で見ると、色差は128あるが、標準偏差は15程度と、色差に比べるとかなり小さい。この事から、Clementineの画像は全体として、極端な値を含むものの、全体としては階調に乏しいという傾向がわかる。



## 色差と標準偏差 : Example images



LUA0202B.187

色差 : 238

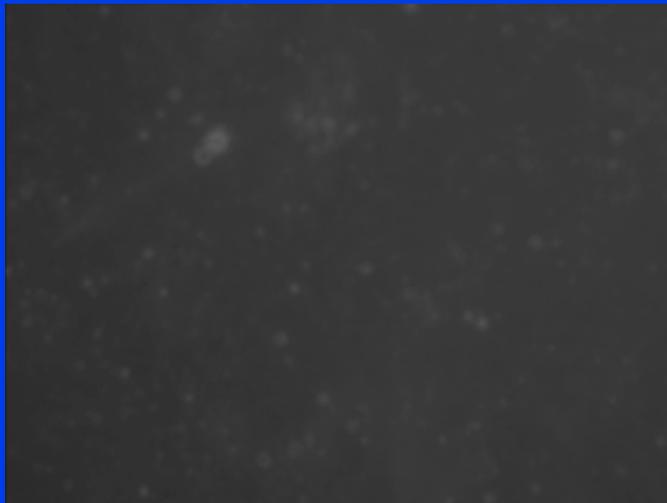
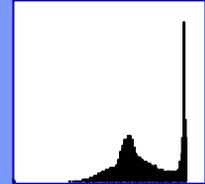
標準偏差 : 85.855

GAIN\_MODE\_ID = "2"

INCIDENCE\_ANGLE = 78.71 <deg>

PHASE\_ANGLE = 78.65 <deg>

EMISSION\_ANGLE = 0.38 <deg>



LUA2249I.187

色差 : 70

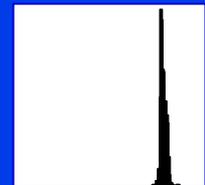
標準偏差 : 4.594

GAIN\_MODE\_ID = "1"

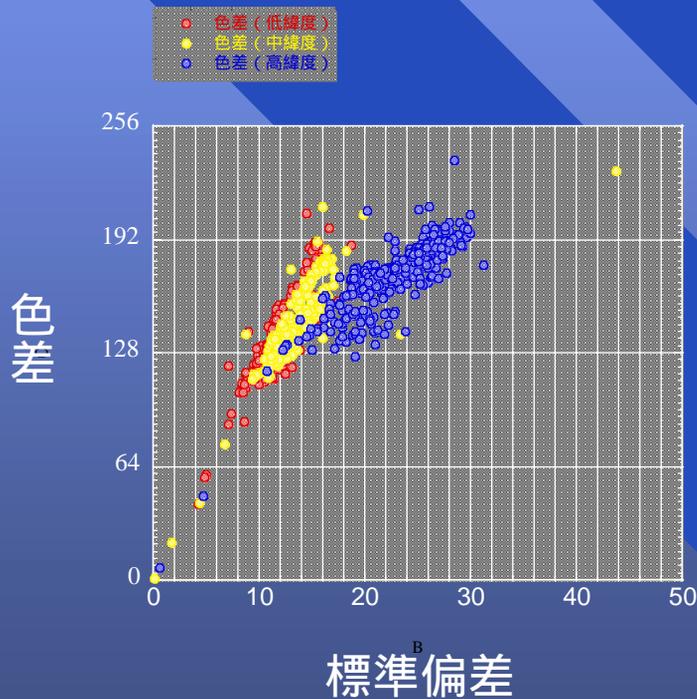
INCIDENCE\_ANGLE = 4.26 <deg>

PHASE\_ANGLE = 4.51 <deg>

EMISSION\_ANGLE = 0.27 <deg>

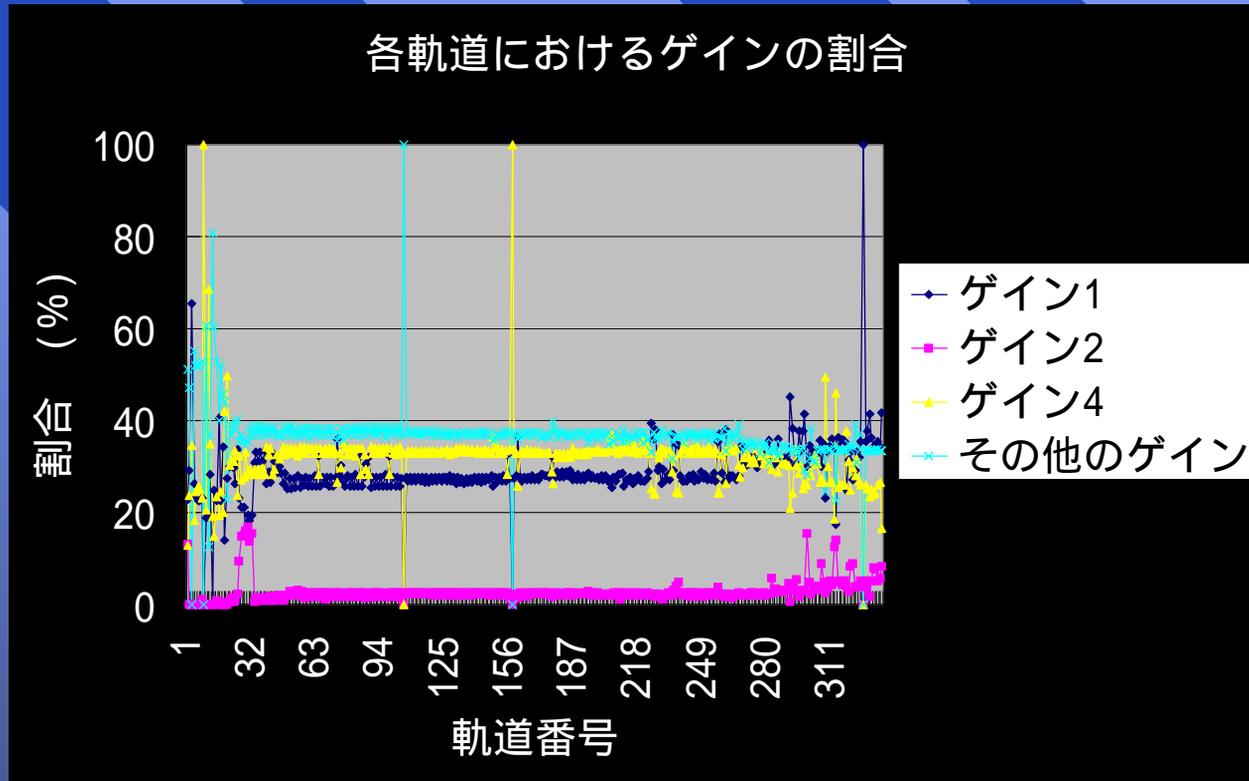


# 画質評価ダイアグラム (1) 緯度別プロット



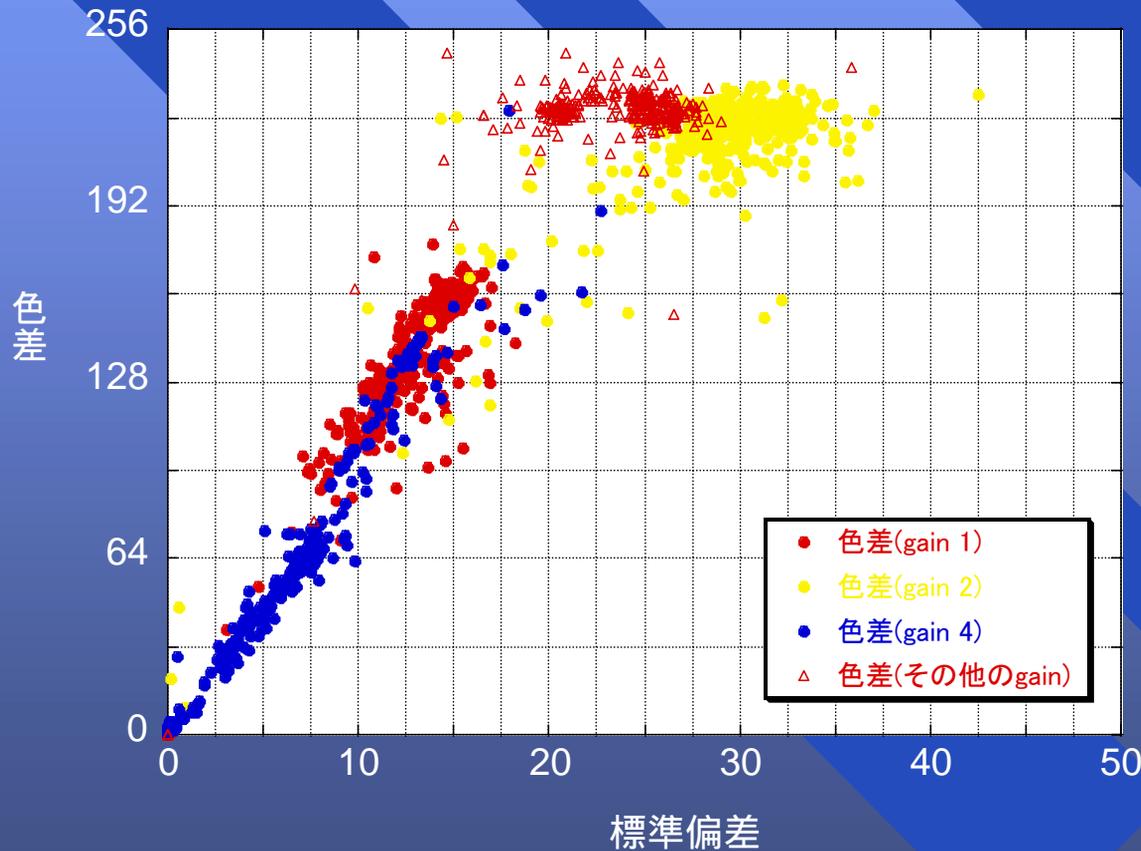
- すべてのClementine画像から、軌道別にデータを取り出し、それを画像の中心の緯度ごとに「低緯度」(0~30度)、「中緯度」(30~60度)、「高緯度」(60~90度)と分類した上で、標準偏差と色差の関係をプロットした図である。
- この図で見ると、低緯度・中緯度地域に比べ、高緯度地域の分布がずれていることがわかる。ずれ方は標準偏差がより大きくなる方向になっており、またばらつきが大きくなる傾向にある。このことは、同じ色差であっても明暗がかなり極端になっている画像が多いことを意味している。
- 低緯度と中緯度の画像を比べてみると、中緯度地域の画像の方が標準偏差がより大きくなる傾向がある。これらの画像についても高緯度地域と同じことがいえるが、中緯度地域の画像は高緯度ほど極端なばらつきを示していないため、比較的バランスが取れたが質のよい画像が多いことを示唆している。
- 低緯度地域の分布は中緯度地域画像の分布とかなり重なっており、似たような経緯を示しているようにみえる。しかし実際には色差128、標準偏差10付近に固まっている傾向がある。この事から見て、低緯度地域の画像は色調の差が乏しく、従って地質などの解析には必ずしも適さないものが多い。

# 各軌道におけるゲインの割合



各軌道毎のゲインの割合をプロットした図である。Systematic mappingのフェーズにおいては各ゲインの割合はほぼ一定しているが、Pre-mapping(1~31)及びPost-mapping(295~348)のフェーズでは、ゲインの割合は一定していない。

## 画質評価ダイアグラム (2) ゲイン別プロット



Clementineでは、カメラのゲインは主に1、2、4という3つのモードを使用していた。特に、解析によく使用されているUVVISでは、ほとんどが1、2及び4のデータである。

左図は、標準偏差と色差のダイアグラムを、ゲインにより分類してプロットしたものである。ゲインは、1、2、4及びその他に分けてある。

1及び4のゲインのデータは比較的標準偏差と色差の分布が広範囲に分布しており、光学的にバラエティに富んだデータが得られることが期待できる。

一方、ゲイン2及び分類外のゲインのデータは、分布が偏っているほか、色差が極端に大きなデータとなっている。これは、輝度値の分布が極端なデータが、これらのゲインの画像に多いことを示唆している。

画像の解析を行う際、このようなゲインのデータからの画質評価の視点も重要である。

# photometric functionのparameterが 変る事によるスペクトルへの影響の検証

- photometric functionのparameterの変化が地質学的情報の獲得にどの程度影響をもたらすかを調べるために、Lucey *et al.* (1995), Blewett *et al.* (1997), Lucey *et al.* (1998)が提示した鉄量推定ダイアグラムを実際にプログラムして再現し、これがphotometric functionのparameterの変化によりどの程度影響を受けるかをシミュレートした。
- Clementine画像の処理のうちDark, Offset等の補正計算は基本的にはBrown-Univで提示されたものに基づいたが、photometric functionを用いた補正に関してはparameterの値を入力する事が必要であるため、ここではBlewett *et al.* (1997)、McEwen *et al.* (1998)で提示された値を使用した。

## 使用したphotometric function

$$R_{30} = R(i, e, \alpha) \frac{X_L(30, 0, 30)}{X_L(i, e, \alpha)} \cdot \frac{F(30)}{F(\alpha)}$$

任意のincidence\_angle(*i*), emission\_angle(*e*), phase\_angle( )で得られた反射強度を標準条件(*i, e,* )=(30, 0, 30)で測定された状態へと補正する。

$$X_L(i, e, \alpha) = 2L(\alpha) \frac{\cos(i)}{\cos(e) + \cos(i)} + (1 - L(\alpha)) \cos(i)$$

上記 $X_L$ の算出

$$L(\alpha) = 1.0 + A\alpha + B\alpha^2 + C\alpha^3$$

$$F(\alpha) = B(\alpha, h, B_0)[(1 - F)P(\alpha, g_1) + FP(\alpha, g_2)]$$

上記 $F( )$ の算出

$$B(\alpha, h, B_0) = 1 + \frac{B_0}{1 + \tan \frac{\tan(\alpha)}{h}}$$

$$P(\alpha, g_1) = \frac{1 - g^2}{(1 - g^2 + 2g \cos(\alpha))^{1.5}}$$

$$B_0 = 19.9 - 59.6\lambda + 59.9\lambda^2 - 20.1\lambda^3$$

$$g_1 = D + ER_{30}$$

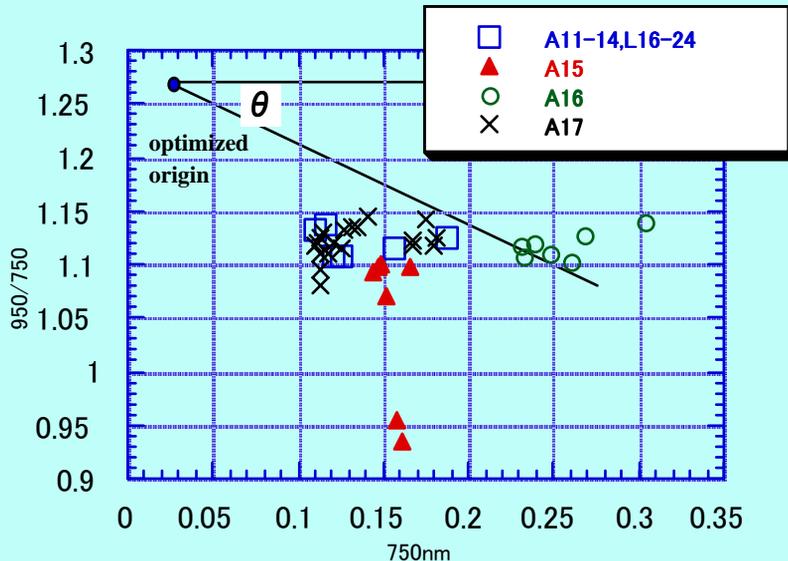
# photometric correctionで用いたパラメーター

- ISIS (Integrated Software for Imagers and Spectrometers) は、近年Clementine UWIS画像の解析に用いられるようになってきた画像解析システムである。このdocument中には、photometric functionを運用するためのパラメーターとして2種類のもものが提示されている。ここではこれらのパラメーター、および最新版であるMcEwen *et al.* (1998)を用いた場合にスペクトルの形状・鉄量推定ルーティンにそれぞれどのような変化が現れるかを検証する。
- ISISのdocument中に示されているパラメーターには一つはすべての波長で同じ物を使うように指定されたものと、波長毎にパラメーターの値が変わっているものの2種類が提示されている。McEwen *et al.* (1998)のパラメーターも波長毎 (A, B, CDE) に分けられている。

	A	B	C	D	E	F	g2	h	B0
ISIS document (1) all filters	-0.019	0.242e-3	-1.46e-6	0.14	-0.283	0.56	0.278	0.06	1.5
ISIS document (2) 波長= WL	-0.019	0.242e-3	-1.46e-6	0.14	-0.3575 *WL -0.0607	0.55	-0.9585 *WL + 0.98	0.048	B0算出 式による
McEwen et al.('98) for A	-0.019	0.242e-3	-1.46e-6	0	-0.222	0.5	0.39	0.062	2.31
McEwen et al.('98) for B	-0.019	0.242e-3	-1.46e-6	0	-0.218	0.5	0.4	0.054	1.6
McEwen et al.('98) for C,D,E	-0.019	0.242e-3	-1.46e-6	0	-0.226	0.5	0.36	0.052	1.35

# 鉄量推定のためのダイアグラム (McEwen et al. 1998のパラメーターで補正したもの)

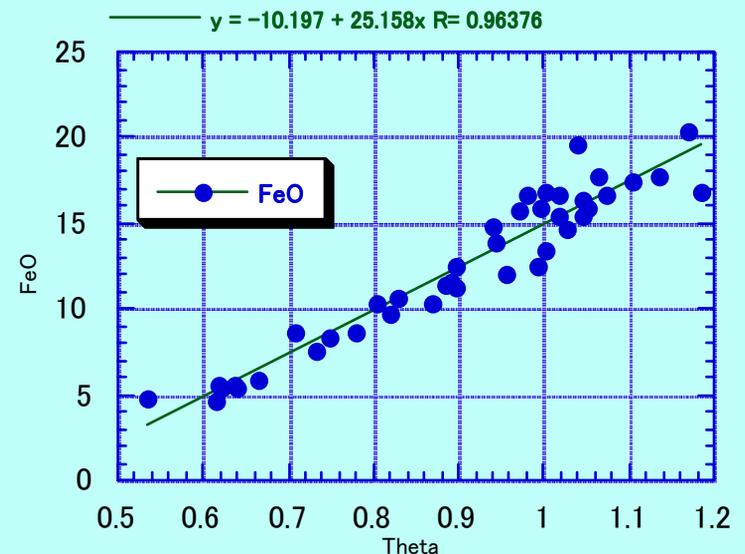
Blewett et al. (1997)のダイアグラム



Blewett et al. (1997)のFeO量推定用のダイアグラムをプログラムして再現したもの。

これをベースとして、photometric functionのパラメーターを様々なものに取り替える事でその鉄量推定への影響をシミュレートする。

θ-FeOの関係による鉄量推定用の検量線



## <プログラム再現時の作業について>

Blewett et al. (1997)と同様にアポロサンプリング地点のUV/VIS画像を前処理にBrown大学のルーティンで、photometric correctionをMcEwen(1996)の式を使ってcalibrateし、着陸地点およびサンプル採取ステーションのスペクトルから読み取られた値をプロットした。なお、A15-17では3X3ピクセル、それ以外では9X9ピクセルでの平均値を用いた。

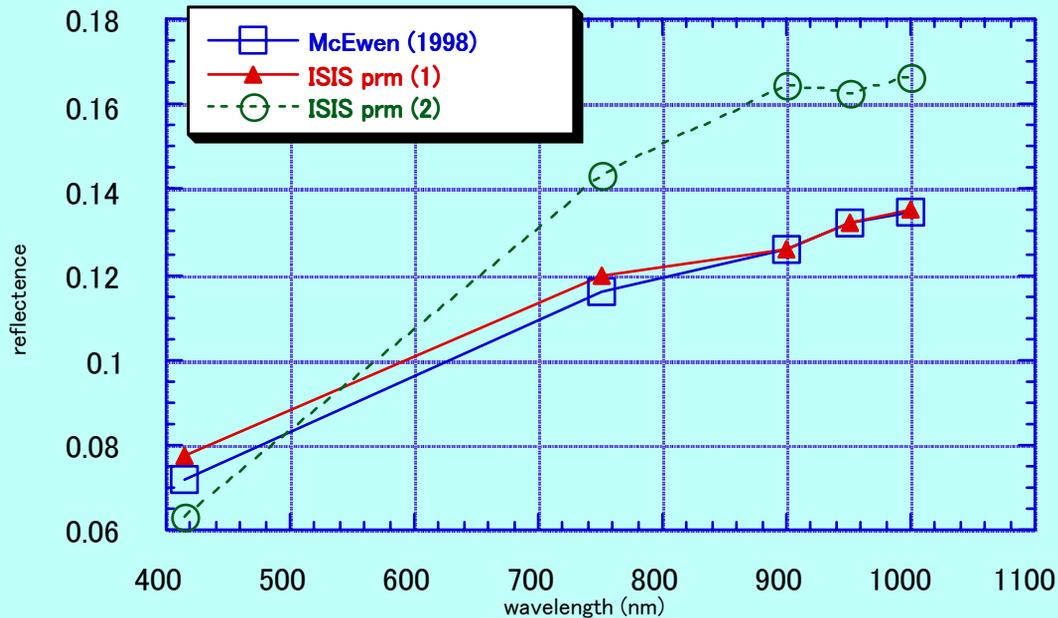
ISISの通常ルーティンと比較して前処理に若干の差違があり、またサンプリングステーションの位置決定に若干の誤差が生じる事が推定されるため、ステーション個々の値はBlewett et al. (1997)と微妙に異なっている。

しかし、ダイアグラム上での全体の傾向には差異が見られないため、基本的にBlewett et al. (1987)をこのプログラム内で再現できたものと考えている。

# photometric functionのパラメーターの変化による スペクトルへの影響

photometric functionのパラメーターが変化する事によって特にphase angleの小さいデータ  
(Clementineの場合低緯度地域の画像がこれに当たる)での影響が著しい。

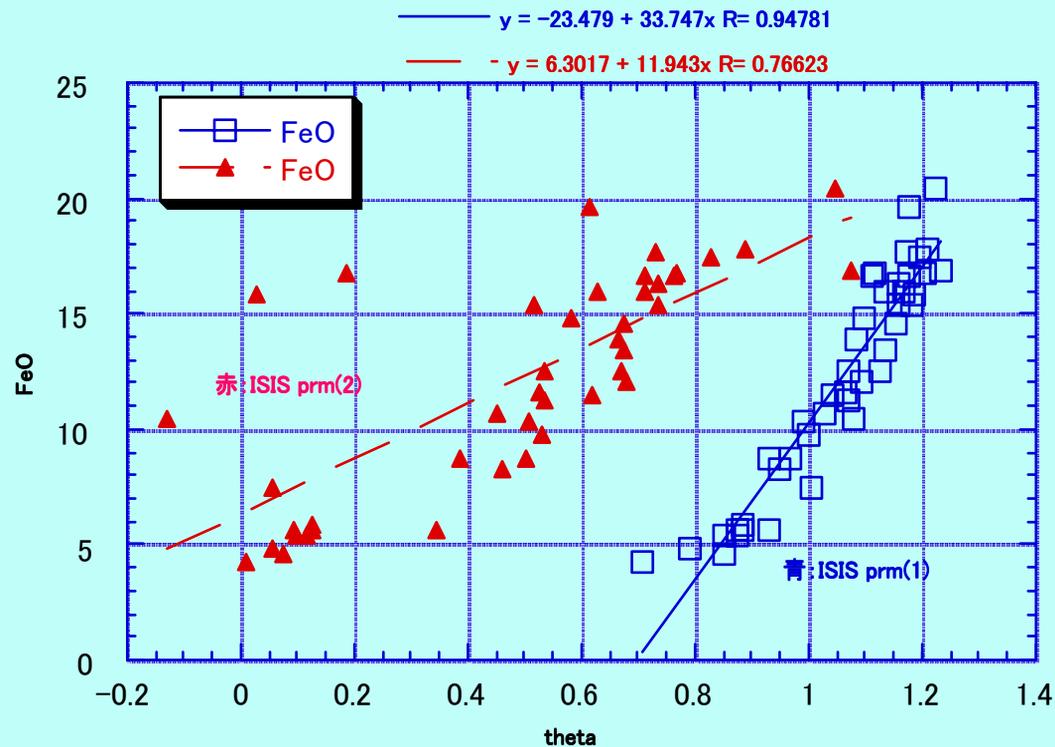
ISIS prmの変化によるA11着陸地点のスペクトル



## 鉄量推定ダイアグラムへの影響

- ISISのパラメターのうち、波長依存の式で与えられているものはほかのものと比較して相関が著しく悪い。最新のMcEwen (1998)のダイアグラムはISIS document中の"ISIS prm(1) (波長依存なし)"に近い。
- photometric correctionのパラメターの決定が分光データからの組成情報の抽出に大きく影響を及ぼす事が分かる。

photometric functionのパラメターを変化させたときの鉄量推定



## illumination geometryのバリエーションのある データセットの重要性

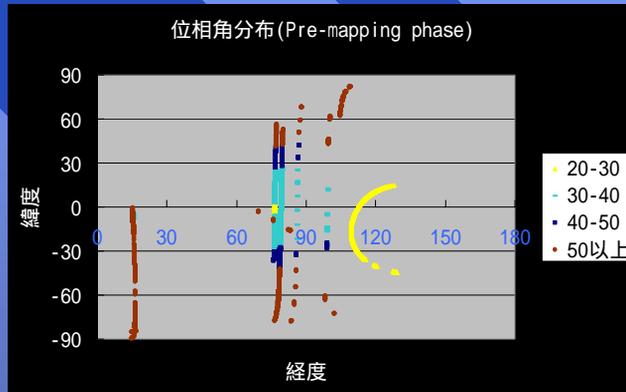
ISISで過去に推奨されていたパラメターの検証から、*photometric function*のパラメターによっては鉄量推定などの情報取得に大きな影響がある事が分かった。パラメターは適時改定されており、常に最新の物を用いて補正式を再設定する事が不可欠である。

また、「最新」のパラメターにしてもそれがどこまで適用が可能なのかを吟味する必要がある。例えばここでシミュレートした最新の*photometric correction*ではalbedoの違いによる*photometric function*の変化については考慮されていない(McEwen et al., 1998)。

つまり物質種による*photometric function*への影響 ( albedoによる影響) まで考慮してより詳細な*correction*を行うためにはuserがそれぞれの物質種の地域について再度決定することが必要となる。

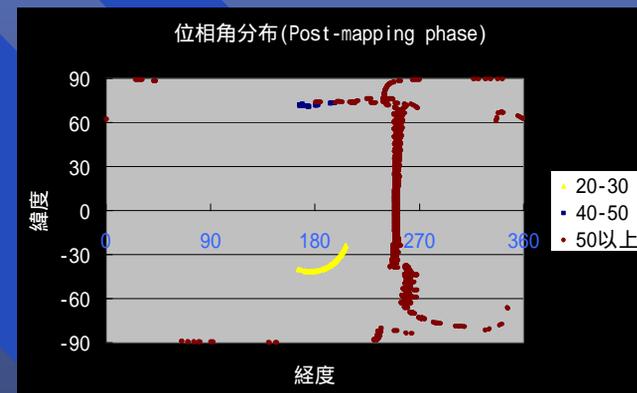
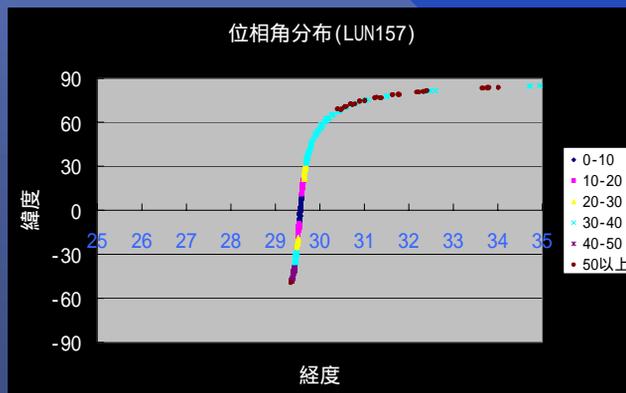
そのためには異なったalbedoユニットについてそれぞれの*photometric function*のパラメターを決定するのに足るだけのバリエーションを持ったデータセットが存在するかどうかを検証する事が必要となる。

# Clementine UV/VIS imageでの illumination geometry 分布状況



Clementineの軌道のうち、Pre-mapping phase、Post-mapping phase及びSystematic mapping phaseの3つの軌道を選んで、位相角の分布をプロットした。Pre-mappingは001~031(全軌道)、Post-mappingは345~348、Systematic mappingは157を選んだ。

Systematic mappingに比べ、Pre-/Post-mapping phaseでは位相角のバリエーションは小さい。さらに複数の角度での観察を行っている地域が偏在しており、Photometric functionのデータをClementineのデータだけで決定することが難しい。今後、光学的な面から地質解析を行っていく場合には、これらのデータがどのように分布しているかをグローバルにプロットすることが不可欠である。



## まとめと今後の方針

- Clementine探査機で得られた画像を全てのCD-ROMにわたって調査した結果、以下の知見が得られた：
  - 色差と標準偏差のプロットによって画質評価を試みた結果、
    - » 緯度毎の違いでは、高緯度地域は明暗が極端な画像が多く、また低緯度地域は色調の差に乏しい画像が多いことが確かめられた。
    - » ゲイン値による分類を行った結果、色差、標準偏差とゲイン値とはある程度の関係が認められる。ゲイン値も画質評価のパラメータとして利用できる可能性がある。
  - 同一地域を多くの異なったillumination geometryで撮像したペアは少なく、多くの地質ユニット毎にそれぞれのalbedoに応じたphotometric functionのパラメータを設定する事は難しい。
  
- 今後の作業方針
  - 今回使用したパラメータ以外にも、他の画質評価の指標についても評価する。例えば、画像のファイルサイズ、輝度値の平均値、圧縮率など。
  - 今回抽出したデータについて、グローバル・マッピングを行うことにより、月に関するデジタル画像情報のデータベース化を行う。
  - 画質が良好な領域で、できるだけ多くのgeometryで撮像された領域の共通部分をグローバルにプロットする事で明確にし、これらの地域についてサイエンス and/or 開発利用の見地で探査を設定する事が出来るか否かを調査する。
    - » もしこのような地域が存在すれば、そこは探査自体にも意義がある上に、既存のデータを最大限に活用できる事になり、将来のSR (Sample Return) ミッションの候補地域の一つになり得るであろう。