

2002 年度修士論文

草原において土壌の状態が人工衛星画像に及ぼす影響

**THE INFLUENCE OF SOIL CONDITION TO SATELLITE IMAGE
IN GRASSLAND**

2003 年 1 月

指導教員 高木方隆

高知工科大学大学院基盤工学専攻
社会システム工学コース 1055165

吉野敦雄

要旨

今日、裸地での衛星画像から土壌の状態を観測するための研究は多く行われている。しかしながら、それらの研究では、草原での土壌の状態が衛星画像の分光反射にどのような影響を与えているのか明らかにされていない。したがって、衛星画像に与える土壌の影響を把握するためには、草原での現地観測結果とリモートセンシングデータとの比較研究することが非常に重要である。

衛星画像に影響を与える要素として地形の特徴、土壌粒度、土壌水分、基岩、植生が考えられる。そこで、モンゴル、マンダルゴビにて 1998 年から 2002 年まで毎年 8 月に、地形、土壌水分、土壌粒度、土壌の色といった地表面の土壌の状態を把握するために現地観測を行った。モンゴル、マンダルゴビの対象地域は、土地被覆の状態がほぼ均一であり、高晴天率という条件から、リモートセンシングによる地表面の被覆状態を観測するのに適している。

本研究では、現地観測結果と比較する衛星画像として、短波長赤外域の Band を持つ Landsat7-ETM を使用した。現地観測結果より、対象地域において土壌水分は微量であり、地形の影響を受けないことを示した。さらに土壌の色はほぼ一定であることを示した。よって、対象地域において、衛星画像に与える土壌水分と土壌の色による影響は無視された。地形の影響は、地形観測結果より作成したシェーディング画像を使用することにより、衛星画像から簡単に除去することができた。本論文では地形の影響を除去した画像のことを、「補正画像」と記した。土壌粒度は、地表面画像より 5 つの粒度カテゴリに分別することで把握した。

補正画像の値と粒度との関係を調べるために、各粒度カテゴリの補正画像の平均値を求め、NDVI 別に比較した。対象地域では、植生は非常に乏しく、補正画像より求めた NDVI (Normalized Difference Vegetation Index: 植生指標) の平均は -0.031 であった。しかし、近赤外域の波長帯をもつ Band4 の補正画像は、土壌粒度より植生の影響を示していた。短波長赤外域の波長帯をもつ Band7 の補正画像は、対象地域のような植生の乏しい地域の中で、土壌粒度の影響を示した。Band7 の補正画像の値は、粒度が大きいほど下降する傾向を示した。よって、Band7 の補正画像を用いることにより、対象地域においては、衛星画像からの土壌粒度の推測が可能であると期待できた。しかし、各粒度カテゴリの補正画像の値は大きく分散しており、誤差が大きかった。したがって、今後は、現地での土壌の分光データと衛星画像との比較を行うと共に、短波長赤外域の Band を 6 個もつ ASTER 画像を用いた解析を行う必要がある。

ABSTRACT

Nowadays, an observation of soil condition using satellite remote sensing on bare soil areas is still in progress. However the observation methods have not clearly explained the reflectance spectrum corresponding to soil conditions. Therefore it is important to study the relationship between ground truth data and remote sensing data.

Topographic feature, soil grading, soil moisture, base rock and vegetation might have some influence on satellite image. Ground truth on such soil condition as topography, soil moisture, soil grading and soil color had been carried out in Mandal-GOBI, Mongolia on every August from 1998 to 2002. The test area has clear atmosphere and uniform land cover. In this study, Landsat 7 -ETM was used. Because its data includes a short wave infrared band which can detect soil condition.

The result of ground truth showed the effect of soil moisture and soil color could be disregarded. Because Soil moisture was very little and unchanged unaffected by the topography in the test area, and the soil color was almost uniform in the test area. Topographic influence could be easily removed from Landsat 7 image by the shading image. The removed topographic influence image is called “corrected image” in this study. Soil grading was classified into five categories by visual interpretation from surface images.

In the test area, vegetation was very little, and the average of NDVI on the corrected image was -0.031. Band 4 of the corrected image was efficient to detect vegetation rather than soil grading. However Band 7 of the corrected image was efficient to detect soil grading in such thin vegetative area. Value of Band 7 corrected image had tendency to decrease with big soil grading. The gravel might made low reflectance because of shadow by gravel-self. On the other hand, the fine sand might make high reflectance because of no shadow. However this tendency included errors because of a wide distribution of corrected image values in each category of soil grading.

As a future study, the derived image will be compared with soil spectral reflectance information in detail. Moreover, ASTER data will be used because of having six short wave infrared bands. It will be more efficient to detect soil condition.

目次

1. 序論	1
1.1 背景	1
1.2 目的	3
1.3 本論文の構成	3
2. 現地観測	4
2.1 観測概要	4
2.2 観測対象地域	4
2.3 観測項目	5
2.3.1 地形観測	5
2.3.2 土壌水分観測	7
2.3.3 土壌水分吸引力観測	10
2.3.4 粒度観測	12
2.3.4.1 篩による土壌粒度観測結果	12
2.3.4.2 画像による土壌粒度観測	14
2.3.5 土壌の色の把握	17
2.4 まとめ	19
3. 衛星画像と現地観測結果との比較研究	20
3.1 使用衛星画像	20
3.2 衛星画像の精密幾何補正	21
3.2.1 シェーディング画像の作成	21
3.2.2 衛星画像とシェーディング画像の相関を用いた幾何補正	23
3.3 衛星画像と地形との関係	23
3.3.1 各 Band とシェーディング画像との相関関係	23
3.3.2 地形の影響を除去した画像の作成	25
3.4 地形の影響を除去した画像と粒度の関係	31
3.5 まとめ	34
4. 結論	35
参考・引用文献	37
謝辞	40

図目次

図 2.1	モンゴルマップ	4
図 2.2	モンゴル マンダルゴビ草原	4
図 2.3	GPS と地形観測風景	5
図 2.4	地形観測結果 （北西方向からの鳥瞰図）	6
図 2.5	地形観測結果より作成した地形モデル （ TIN 形式 ）	6
図 2.6	FDR 土壌水分計と土壌水分観測風景	7
図 2.7	傾斜角度のグリッドデータと土壌水分観測点	8
図 2.8	土壌水分と傾斜角度の関係	8
図 2.9	傾斜方位のグリッドデータと土壌水分観測点	9
図 2.10	土壌水分と傾斜方位の関係	9
図 2.11	テンシオメータと土壌水分吸引力観測風景	10
図 2.12	土壌水分吸引力の経時変化	11
図 2.13	土壌粒度観測風景	12
図 2.14	土壌粒度観測点	13
図 2.15	土壌粒度の粒径過積曲線	13
図 2.16	千葉大学観測車と搭載されている観測機器	15
図 2.17	使用した地表面画像の取得ポイント	15
図 2.18	カテゴリ 1 の画像例	16
図 2.19	カテゴリ 3 の画像例	16
図 2.20	カテゴリ 5 の画像例	16
図 2.21	植生部分のマスクプログラム実行前後の例	18
図 2.22	各粒度カテゴリにおける RGB の画素値	18
図 3.1	シェーディング	21
図 3.2	対象地域のグリッドデータ	22
図 3.3	対象地域のシェーディング画像	22
図 3.4	衛星画像とシェーディング画像の相関を利用した幾何補正	23
図 3.5	Landsat7-ETM Band4 とシェーディング画像との比較	25
図 3.6	Landsat7 -ETM Band5 とシェーディング画像との比較	26
図 3.7	Landsat7 -ETM Band7 とシェーディング画像との比較	26
図 3.8	Landsat7 -ETM Band4 の画像 （ 補正前 ）	28
図 3.9	Landsat7 -ETM Band4 の補正画像	28
図 3.10	Landsat7 -ETM Band5 の画像 （ 補正前 ）	29
図 3.11	Landsat7 -ETM Band5 の補正画像	29
図 3.12	Landsat7 -ETM Band7 の画像 （ 補正前 ）	30

図 3.13	Landsat7 -ETM Band7 の補正画像.....	30
図 3.14	各粒度カテゴリにおける補正画像の値 (Band4(植被率別)).....	32
図 3.15	各粒度カテゴリにおける補正画像の値 (Band5(植被率別)).....	32
図 3.16	各粒度カテゴリにおける補正画像の値 (Band7(植被率別)).....	33

表目次

表 2.1	使用したデジタルカメラの主な仕様.....	14
表 2.2	各カテゴリごとの最大直径とその平均値.....	17
表 3.1	Landsat7-ETM のデータが持つ個々の Band 仕様.....	20
表 3.2	Landsat7-ETM の各 Band とシェーディング画像との相関関係.....	24
表 3.3	各 NDVI の分類範囲のデータ数.....	31

付録目次

A	学会発表論文.....	41
	第 10 回日本沙漠学会学術講演会 (1999).....	42
	日本写真測量学会平成 13 年度学術講演会 (2001).....	44
	22 ND ASIAN CONFERENCE ON REMOTE SENSING 2001.....	48
	23 RD ASIAN CONFERENCE ON REMOTE SENSING 2002.....	52

1. 序論

1.1 背景

科学技術振興財団（JST）戦略的創造研究推進事業（CREST）地球変動のメカニズム研究領域の「衛星観測による植物生産量推定手法の開発」の研究プロジェクトで、千葉大学環境リモートセンシングセンター（CEReS）の本多嘉明助教授を代表に様々な大学との共同研究が行われている。プロジェクトの目的は、衛星による植物生産量推定モデルの開発とモデルの高精度化を可能にすることにある。これにより地球温暖化防止のための植物による二酸化炭素固定量を正確に見積もることや食糧生産を把握することができる。最終的には、グローバルスケールで時系列モニタリングできる NOAA AVHRR や TERRA MODIS といった 1km の低分解能衛星データでの解析を目指している。

プロジェクトの研究の初段階では、平坦・均質・広大な草原サイトでの植物生産量の実測手法を開発し、衛星観測データと直接比較することで、衛星データによる植物生産量推定結果を実証的に検証することが目的である。初段階目的達成のために、1998 年から毎年 8 月にモンゴル草原で現地観測を行っている。

このプロジェクトのように、現地の被覆状態を観測し衛星観測データと比較を目的とした研究は様々な研究機関で行われている。NASA の Compton J. Tucker 等は、東アフリカやブラジルで AVHRR での植生指標の開発のために現地観測を行っている⁽³⁾。アリゾナ大の Alfredo R. Huete 等は、MODIS などの低分解能衛星画像から、正確に植生を判断することができる植生指標の開発のために、千葉大学本多・梶原研のスタッフと共同で、メキシコ、カンサスなどのステップや砂漠の観測を行っている⁽¹⁴⁾。しかし、モンゴル草原においては現地観測による分光、画像、草丈、種などの基礎的な植生情報は殆ど存在しない。よって、このプロジェクトの観測により得られる現地の植生データは、グローバルスケールでの植生モニタリング手法を確立するための検証データとして非常に重要である。

この観測は、植物生産量のモデル構築および衛星データ解析に必要な基礎的な情報を入手するとともに、現地観測手法の確定を目的としている。観測では、1km の低分解能画像との比較も可能にするため、モンゴル・マンダルゴビに 2km 四方の観測地域を設けている。モンゴル草原観測サイト運用計画に基づき、1) 車両観測、2) リモコンヘリ観測、3) バイオマス観測、4) BRDF（Bi-directional Reflectance Distribution Function：双方向反射分布関数）観測、5) 大気観測、6) 気象観測、7) 土壌観測を約 1 ヶ月間実施している。このうち、車両、リモコンヘリ、バイオマス、BRDF など植生に関わる事は、千葉大学本多・梶原研のスタッフを中心に観測している。大気、気象観測は、千葉大学高村研のスタッフを中心に、近畿大学、山形大学のスタッフと共に行っている。また、土壌観測は、高知工科大学の高木研のスタッフが担当している。

ここで用いた観測機材と観測手法の多くは世界で初めてのもので、NASA や宇宙開発事業団の衛星計画から衛星データの検証活動として注目を浴びた。特にNASA のEOS 衛星MODIS サイエンスチームから世界最高水準の衛星検証サイトであるとの評価を受けることができた⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾。

プロジェクトの対象地域のような半砂漠の草原で衛星画像からバイオマス量を把握する場合、土壌の影響は無視することができない。しかし、草原での衛星画像に与える土壌の影響を把握する方法は確立されていない。なぜなら、植生や大気の影響が、土壌の影響の解析を困難にしているためである。

栗田等によると、バイオマス推定に植物の草丈を考慮すると、バイオマス推定が高精度に出来ると報告している⁽¹⁸⁾。さらに、近田等は、衛星データを対象としたBRF(Bi-directional Reflectance Factor) モデルによる草丈算出に関する研究を行っている。それにより、衛星画像から、草原での植生物理量が算出できると期待される。しかし、対象とした植生の疎の地域では、草丈算出の際に土壌のBRFの影響は大きく、これを考慮した手法を考える必要があると報告している⁽¹⁹⁾。したがって、今後、衛星画像からBRF を用いて草丈を算出し、より高精度にバイオマス推定を行うためには、地形や土壌が衛星画像に与える影響を把握することがより重要視されることから、その方法が確立されることが期待されている。

今日までに土壌の状態を衛星画像から解析する研究は多く行われている。ポーランドのBeata. H 等は 1997 年の大洪水の影響を把握するために、ERS2-SAR と Landsat -TM の熱赤外 Band を用いた土壌水分の評価研究を行っている⁽⁴⁾。土壌の侵食範囲の拡大により砂漠化が懸念されるイスラエルでは、Shoshany. M 等が、砂漠での土壌観測結果を用いて、土壌侵食範囲を導き出すクラスタリング手法の研究を行っている⁽¹³⁾。前者は土壌水分を把握するのみの研究であるため、他の地物の把握までは行っていなかった。後者は砂漠といった特殊な環境であるために、植生など他の地物の影響を考慮しない研究であった。

草原での現地観測結果を用いて土壌の影響を把握することを目的とした研究は、広島大学の開発教授がモンゴルにて行っているが、土壌水分の把握に限定した研究である⁽¹⁵⁾。

対象地域のような草原にて、粒度、土壌水分、地形など、土壌の状態を衛星画像から把握する手法を確立するためには、植生、大気、土壌の状態を同時に現地観測し、全ての状態を踏まえた上で、衛星画像と土壌観測結果とを比較していく研究を行う必要がある。

この研究により、衛星画像から草原の土壌の状態を把握することが可能になれば、衛星画像からの植生量をより正確に把握することが期待できる。さらに、土壌の変化を知ること、草原の砂漠化の兆候を正確にモニタリングすることが可能になると期待できる。

1.2 目的

本研究の大きな目的は、土壌の状態が衛星画像及ぼす影響を把握し、衛星画像からの土壌観測を可能にすることである。その目的達成のため以下の2つの目的を設けて研究を行っていく。

- ・ モンゴル草原に設けた観測対象地域で土壌観測を行い、現地の土壌の状態を把握する。現地での土壌観測項目は、地形観測、土壌水分観測、粒度観測を行う。さらに土壌の色の把握を地表面画像から行う。
- ・ Landsat 7 -ETM の衛星画像と現地観測結果との比較を行い、対象地域において、土壌の状態が衛星画像に及ぼす影響を把握する。地形観測結果より作成したシェーディング画像と、衛星画像との相関を把握する。相関が高ければ、その相関を除去することにより地形の影響の除去を行う。地形の影響を除去した衛星画像の値が、植生、土壌粒度などの要素の影響を反映しているかを把握する。

この研究の意義は、モンゴル草原での現地観測を行い、衛星画像から土壌の状態を把握するための検証データを取得することにある。従来までの研究では、砂漠などの裸地での検証データの取得は行われているが、草原での土壌の検証データの取得は行われていない。よって、この観測データは、衛星画像から草原での土壌の状態を把握するための研究に役立つと期待できる。

1.3 本論文の構成

本論文は、序章で研究背景、目的をまとめ、本研究の位置づけや意義を明確にする。2章でモンゴルでの土壌観測結果をまとめ、対象地域の土壌の状態を把握する。3章では2章での観測結果を踏まえた上で、現地観測結果と衛星画像 Landsat7 -ETM と比較し、対象地域のような草原で、衛星画像が土壌の状態をどのように反映しているのか把握する。4章では研究全体をまとめ、結論を導く。

2. 現地観測

2.1 観測概要

草原での土壌の状態が衛星画像に影響を及ぼす要素として、地形、土壌水分、粒度、組成による土壌の色の変化があげられる。モンゴル草原での現地観測により、これらの個々の現地データを取得し、対象地域の土壌の状態を把握する。なお、衛星画像との比較を前提として観測を行うため、土壌水分を除いて表面部分のみの観測とした。

2.2 観測対象地域

現地観測を行うにあたり、本研究では、モンゴルの首都ウランバートルから南へ約 300km のところにある、ドント・ゴビ県マンダルゴビの半砂漠の草原に約 2km 四方の観測対象地域を設けた（図 2.1）。対象地域は、大気の状態が一定であり、地表面の被覆状態はやせた植生で一定に覆われている（図 2.2）。したがって、対象地域は、衛星リモートセンシングを用いて、草原での土壌の状態を把握するのに適した場所であるといえる。対象地域での現地観測は、1998 年から 2002 年の 8 月に約 3 週間行われた。



図 2.1 モンゴルマップ



図 2.2 モンゴル マンダルゴビ草原

2.3 観測項目

本研究では，土壌の地表面を把握するために地形観測，土壌水分観測，土壌吸引力観測，粒度観測を行った．その観測結果を項目ごとにまとめていく．

2.3.1 地形観測

地形観測は，GPS を用いたキネマティック測量（干渉測位）を行った．使用した GPS は（株）トプコン製の 1 周波 GPS（GP-SX 1）である（図 2.3）．基地点は，観測サイトから 1 km 離れたキャンプサイトに設置した．対象地域をキネマティック測量するための移動手段として，原動付自転車を利用した．測点数は 3 日間で 5487 点取得した（図 2.4）．

この観測で得たこれらのポイントデータでは，衛星画像と地形との面的な比較を行うことができない．そこで，ポイントデータを地形モデル（DEM：Digital Elevation Model）に変換し，面的なデータにした．なお，取得したポイントデータはランダムなため，TIN（：Triangulated Irregular Network）形式に変換した（図 2.5）．



図 2.3 GPS と地形観測風景

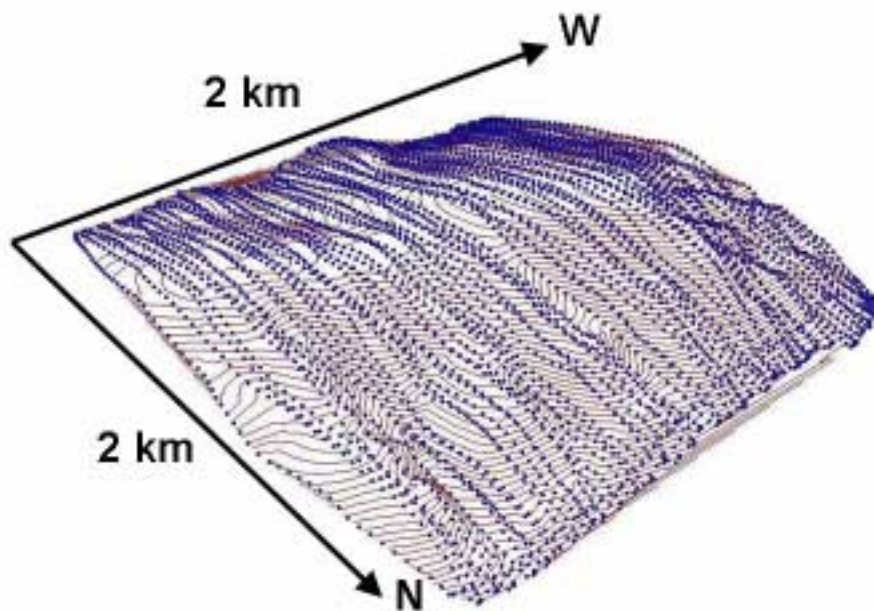


図 2.4 地形観測結果（北東方向からの鳥瞰図）

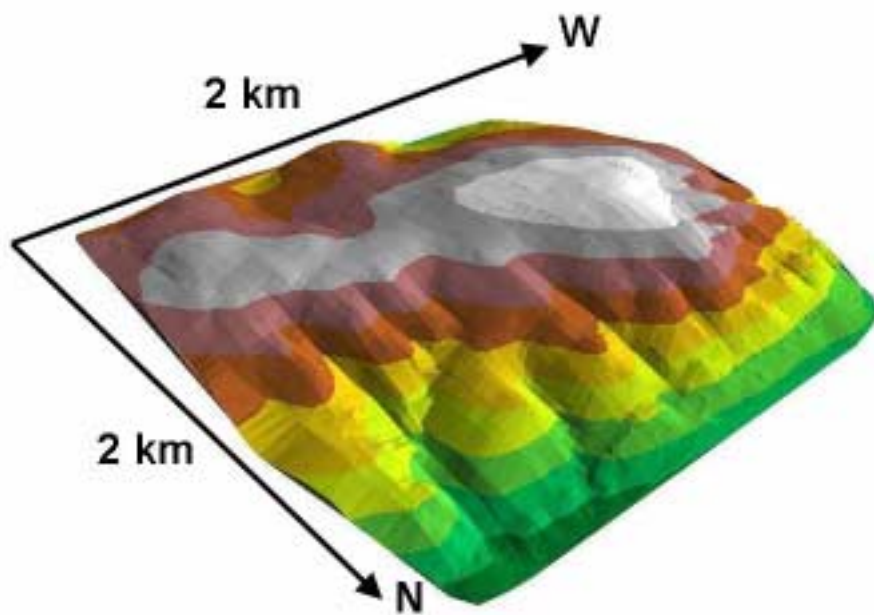


図 2.5 地形観測結果より作成した地形モデル（TIN 形式）

2.3.2 土壌水分観測

土壌水分観測は、Eijkelkamp 製の FDR 土壌水分計を用いて観測した（図 2.6）。この機器は、観測点の地表面にプローブの先を挿入することで、地表面から 3～5cm の深さの単位体積あたりの土壌水分率を測定することができる。土壌水分観測は、対象地域の任意の地点で行った。なお、地形測量により求めた傾斜角度、傾斜方位との比較を行うため、地形変化の認められる丘と谷を細かく観測した。

土壌水分観測結果は地形観測結果より得られた傾斜方位、傾斜角度との比較を行った。図 2.7 及び図 2.9 は地形観測結果より導き出した傾斜方位、傾斜角度をグリッドデータに変換し、これらのデータに土壌水分観測点を重ねたものである。土壌水分観測点の地形データはこれらのグリッドデータより抽出した。図 2.8 は傾斜方位と土壌水分、図 2.10 は傾斜角度と土壌水分の関係を示したものである。図 2.8 より観測ポイントの殆どの傾斜角度は 0 度から 6 度に密集していることから、対象地域は非常に緩やかな傾斜で構成されていることを示した。また、図 2.8、2.10 より、土壌水分率はどの観測点においても 0.25 以下と非常に低い値であった。また、土壌水分は傾斜角度、方位に関係なくランダムであった。よって、対象地域の土壌水分は地形要素との関係を持たないことがわかった。

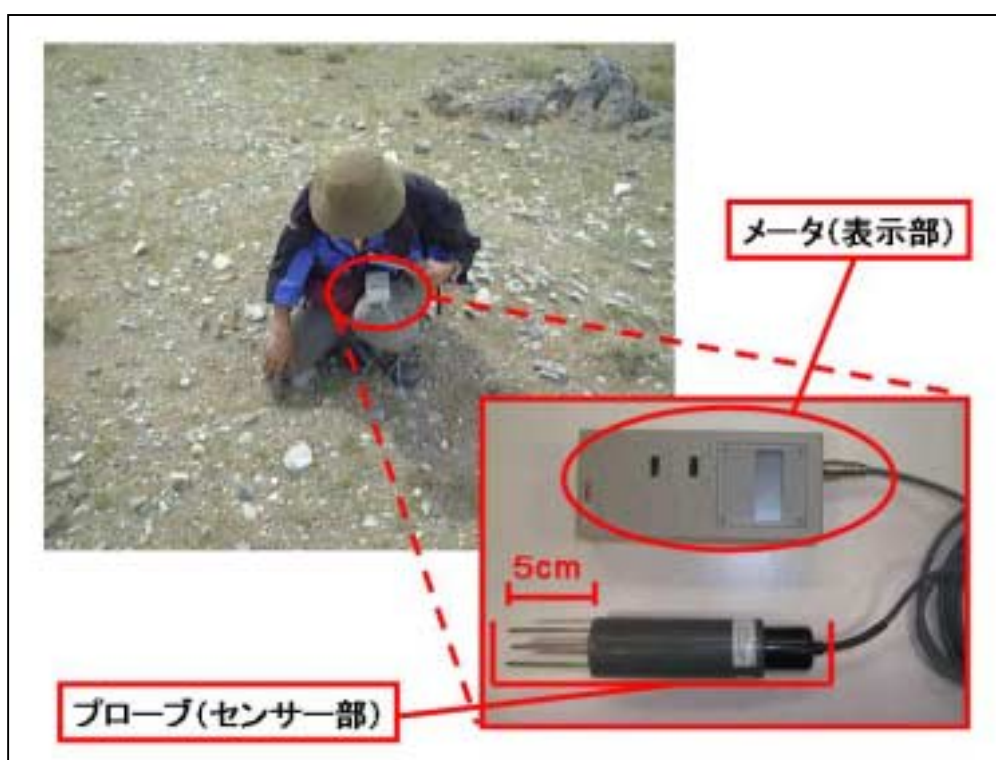


図 2.6 FDR 土壌水分計と土壌水分観測風景

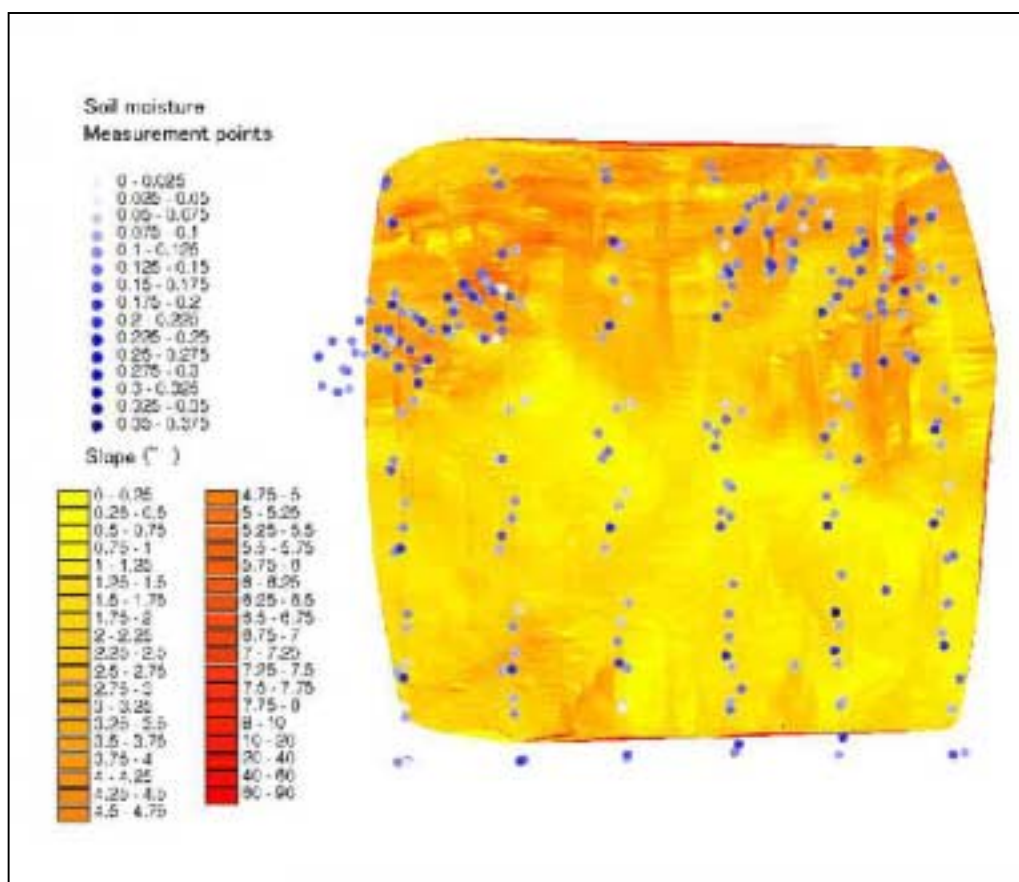


図 2.7 傾斜角度のグリッドデータと土壌水分観測点

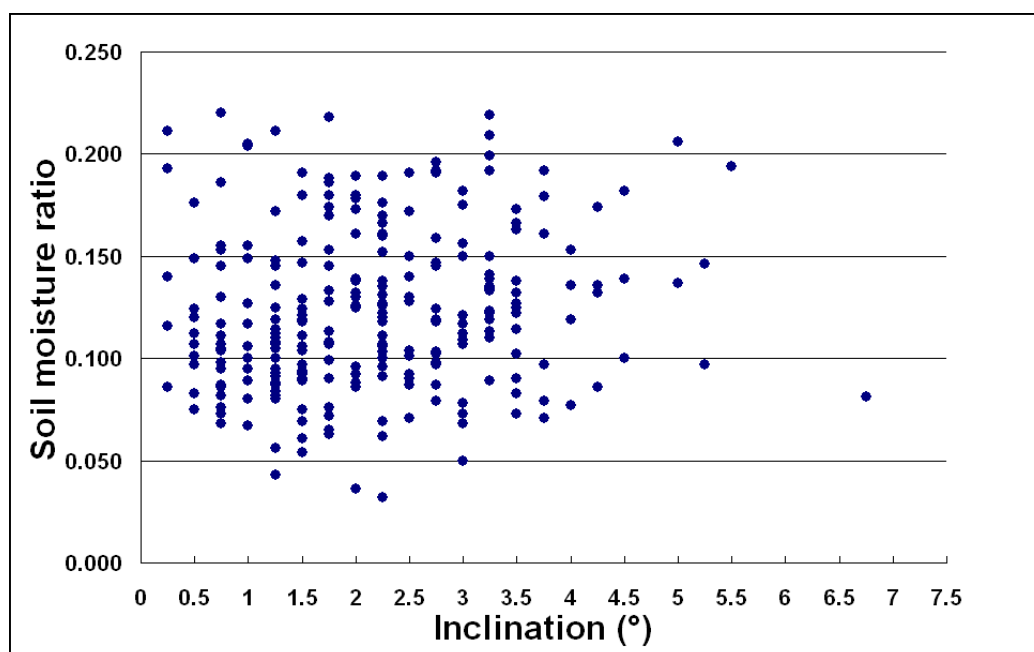


図 2.8 土壌水分と傾斜角度の関係

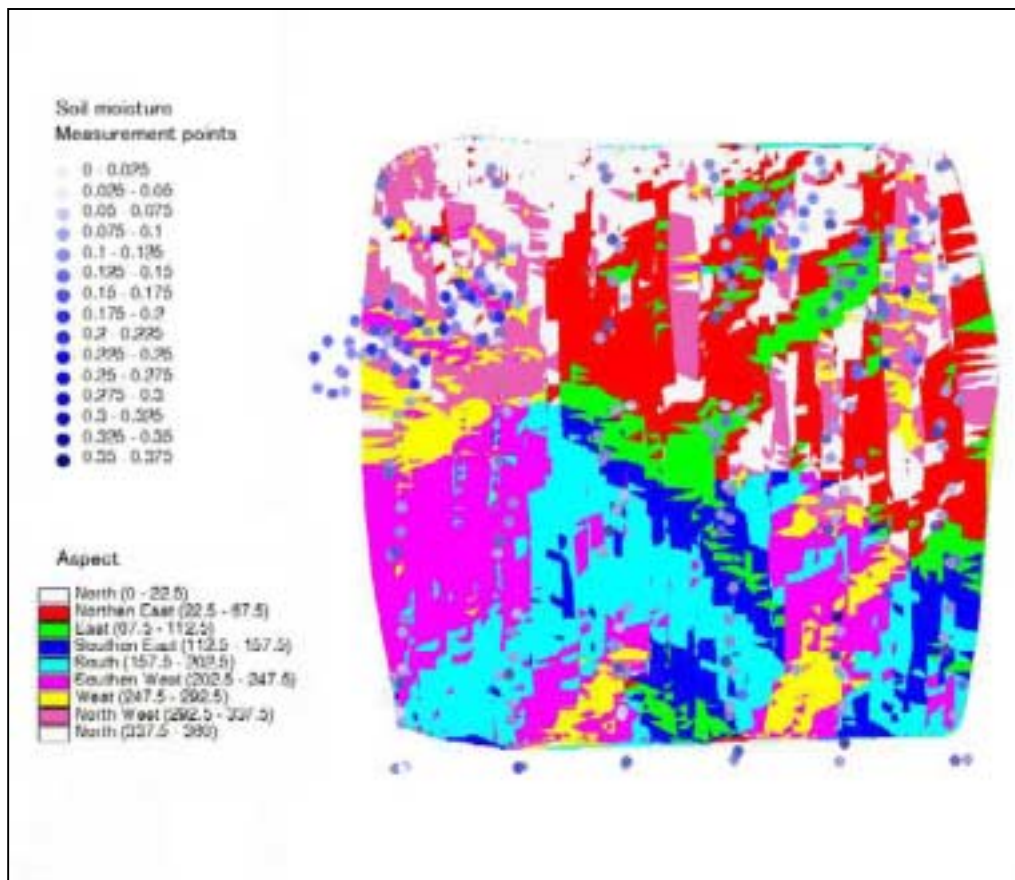


図 2.9 傾斜方位のグリッドデータと土壌水分観測点

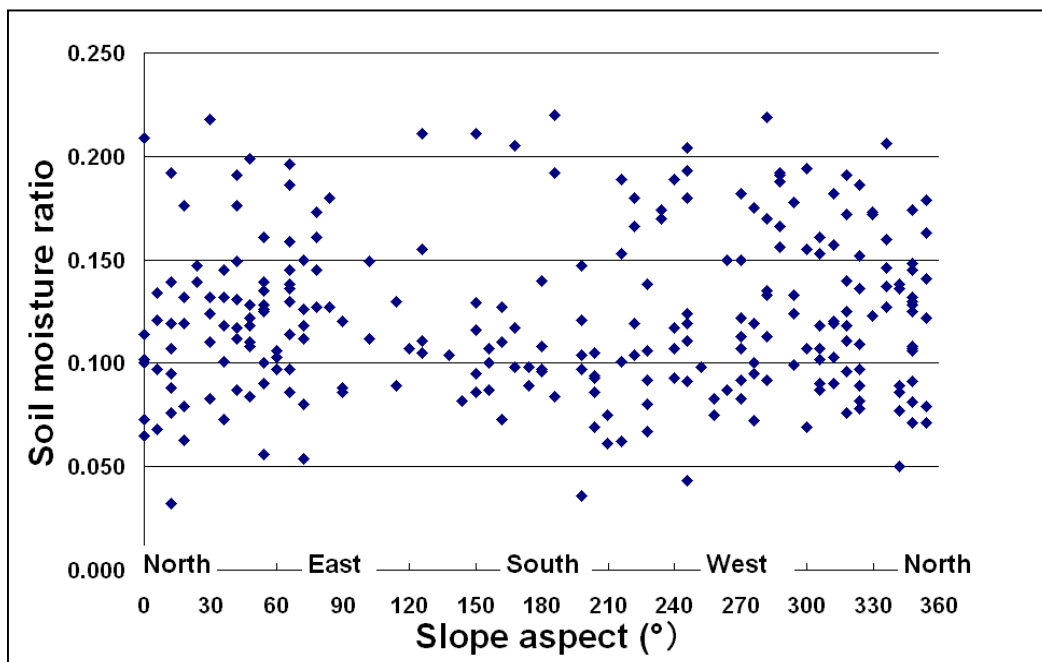


図 2.10 土壌水分と傾斜方位の関係

2.3.3 土壌水分吸引力観測

土壌水分の経時変化をみるために、テンシオメータによる土壌水分吸引力測定を行った。土壌水分吸引力観測は、大起理化工業社製の自記式テンシオメータ（電流出力式）を利用した（図 2.11）。この機器は、地中に埋めた陶器製の管から微量の水が土中に吸収され、土壌の吸引力が測定できる。傾斜の中腹を観測点とし、経時変化を追跡した。地表面、深さ 30cm、深さ 60cm にテンシオメータを設置し観測した。観測期間は 2002 年 8 月 10 日から 8 月 20 日までの 10 日間とした。

1 日の土壌水分吸引力の経時変化を見ると、殆どの日で正午が最も値が低いため、土壌水分がその時間帯に地表面に上昇する様子を伺うことができた（図 2.12）。よって、土壌水分は地形よりむしろ太陽高度に影響されると考えられる。



図 2.11 テンシオメータと土壌水分吸引力観測風景

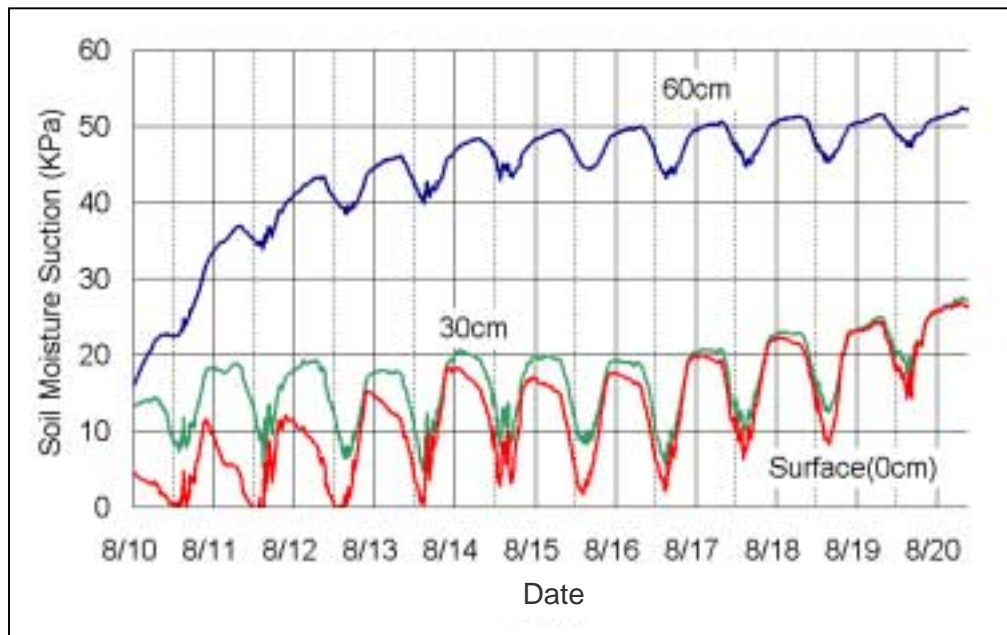


図 2.12 土壌水分吸引力の経時変化

2.3.4 粒度観測

2.3.4.1 篩による土壌粒度観測結果

粒度観測は、粒度試験用の篩を使用して行った(図 2.13)。観測点は、対象地域の衛星画像から DN 値の変化が見られるところを重点的に観測した。図 2.14 は土壌粒度のサンプリングポイントを示す。観測点数は 16 点である。

図 2.15 は粒度の分布状態の粒径過積曲線である。粒径過積曲線とは、各篩の目の大きさ別の重量を通過百分率で示したものである。通常は、曲線から求めた 60%粒径と 10%粒径の比を用いて粒度の分布を示す。比の値が 10 より大きければ、分布状態がよく、5 より低ければ分布状態が悪いことを示す。しかし、対象地域の粒度は、殆どの観測ポイントで 60%以上が 2mm 以下の細粒分であった。よって、対象地域の土壌の殆どは細粒分で構成されていることが確認できた。しかし、篩による粒度観測は、1 点につき 1 時間あまりの時間を要するため、多くの測点でデータを取得することが困難であった。



図 2.13 土壌粒度観測風景

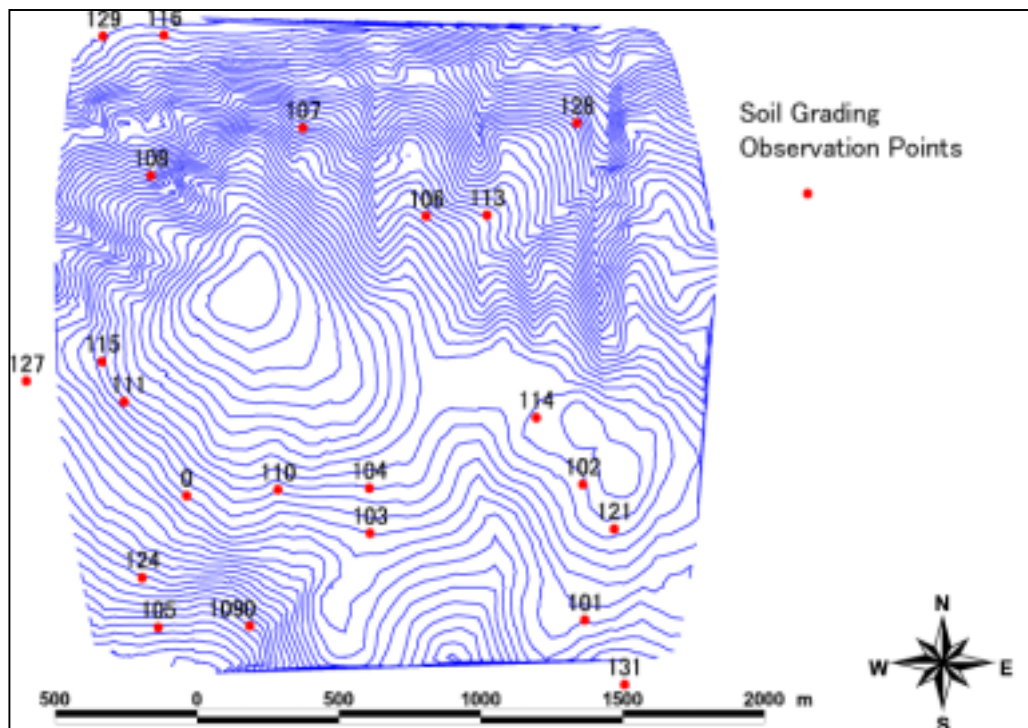


図 2.14 土壌粒度観測点

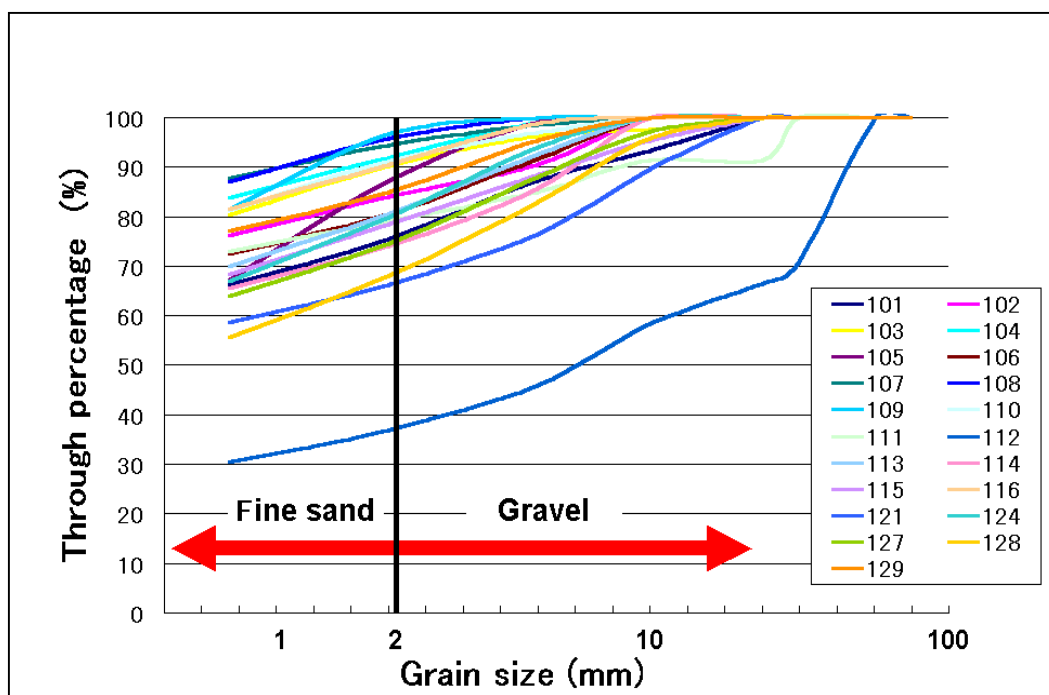


図 2.15 土壌粒度の粒径過積曲線

2.3.4.2 画像による土壌粒度観測

篩による粒度観測結果より，観測ポイントの粒度は，殆どが細粒分で構成されていた．よって，粒度観測点での粗粒分の変化を調べることで，対象地域の粒度分布が衛星画像に与える影響を把握することができると考えられた．しかし，篩による観測は，時間がかかり過ぎるため，多くの測点での観測を行うことができなかった．そこで，デジタルカメラで撮影した地表面の画像を用いて粒度観測を行うことを試みた．

使用した画像は，千葉大学の観測車に搭載しているデジタルカメラで撮影した画像を提供していただいた画像である(図 2.16)．この観測車に搭載されたデジタルカメラは，コニカの Q-M100V である (表 2.1)．このカメラは，地表面 2m の高さに設置されているアームに取り付けられているため，常にほぼ一定の高さからのデータを取得することができる．今回，粒度観測で使用した画像は，365 枚である．画像取得ポイントは図 2.17 に示した．焦点距離，撮影距離，CCD のサイズから 1 ピクセルあたりの大きさを計算した結果，格子の 1 辺の大きさは約 1.38mm であることから，デジタルカメラによる粗粒分の観測は可能である．なお，この計算には，CCD の中心位置のズレなどは考慮していない．

取得した画像は目視により，粒度分布の状態を 5 段階に分類した (図 2.18,19,20)．表 2.2 は，各粒度カテゴリの最大直径とその平均値を示している．

表 2.1 使用したデジタルカメラの主な仕様

コニカQ-M100Vの主な仕様	
撮像素子	1/3インチ 108万画素原色CCD(正方画素)
記録画像	1152×872ピクセル(スーパーファイン、ファイン)
レンズ	F2.8 f=6.0mm(35mmカメラ換算で39mm相当)



図 2.16 千葉大学観測車と搭載されている観測機器

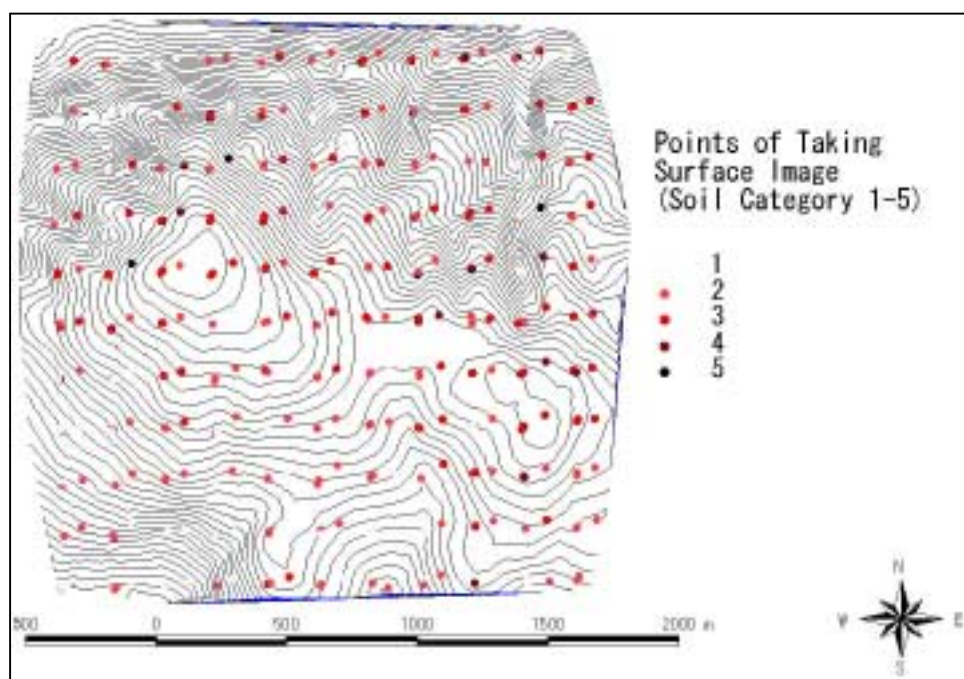


図 2.17 使用した地表面画像の取得ポイント



図 2.18 カテゴリ 1 の画像例



図 2.19 カテゴリ 3 の画像例



図 2.20 カテゴリ 5 の画像例

表 2.2 各カテゴリごとの最大直径とその平均値

Category	Count	Average	Stdev	Max	Min
1	85	24.7	7.6	49.8	5.5
2	146	30.6	7	56.7	19.4
3	110	37.5	9.6	73.3	23.5
4	19	48.3	11.8	77.4	34.6
5	6	71.9	26.5	117.5	48.4

(mm)

2.3.5 土壌の色の把握

土壌の色を地表面画像から調べることで土壌の分光反射の状態を推測した．使用した画像は，画像による粒度観測に用いた 365 枚である．

土壌の部分だけを抽出するためには，地表面画像から植生部分を除去する必要がある．そこで，植生部分にマスクを掛け，土壌の部分のみの画素値の抽出を行った．

植生部分の抽出においては，千葉大学の増淵氏が HSI 変換と主成分分析を用いた研究を行っている⁽⁶⁾．しかし，これは植生部分を確実に探し抽出する研究であるため，完全に植生と断定できない場所は抽出されていない．そこで我々は，画素の R,G,B を比較することで，植生部分と思われる場所をほぼ完全にマスクする方法を試みた．

本研究では，各画素における R,G,B の中で，植物が反射しやすい緑（Green）が最も大きく，さらに，土壌が反射しやすい赤（Red）が最も小さい条件を持つ画素は，植生部分と見做しマスクするプログラムを作成した．R,G,B の比較式は式 2.1 に示す．これにより，地表面画像の植生部分は，ほぼ完全にマスクされ，土壌部分だけの抽出を行うことができた．図 2.21 はプログラム処理前と前後の例を示す．しかし，この方法では，影の影響までは解決することができなかった．

図 2.22 のグラフは，各粒度カテゴリ別の土壌部分の R,G,B の画素値の平均値をグラフ化したものである．このグラフは，R,G,B 全てがほぼ平行であり，粒度が大きいほど画素値の値が低い傾向をしめした．それは，礫ほどそれ自身が作る影の面積が大きいためだと考えられる．よって，影の影響を考慮すると，土壌の R,G,B の比率は，粒度に関係なくほぼ一定であるため，対象地域の土壌の色は，ほぼ一定であると考えられる．

$$GREEN > BLUE > RED \quad (2.3.1)$$

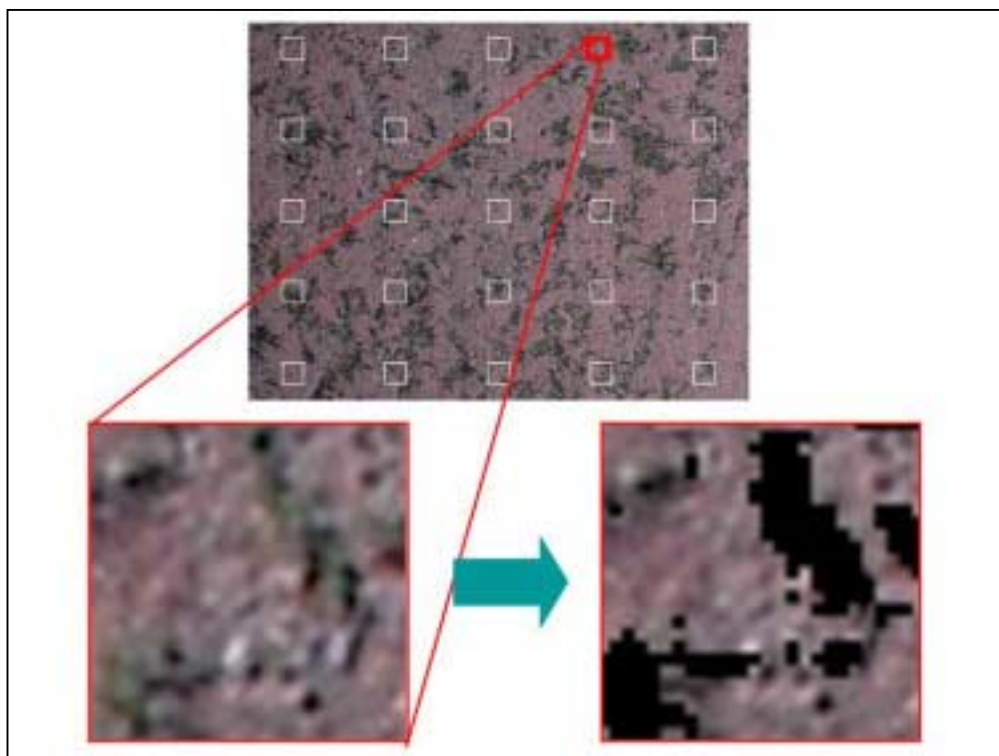


図 2.21 植生部分のマスクプログラム実行前後の例

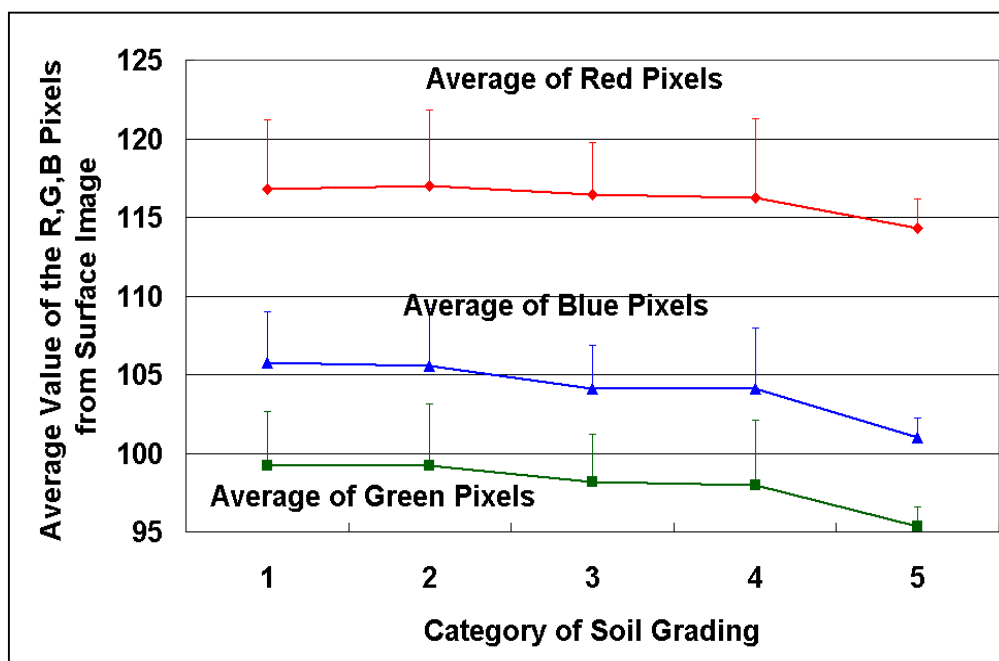


図 2.22 各粒度カテゴリにおける RGB の画素値

2.4 まとめ

地形観測結果より，対象地域の地形モデルを作成した．土壌水分と地形の関係を把握するために，その地形モデルから各土壌水分観測点の地形方位，傾斜角度のデータを抽出した．

土壌水分観測結果より，対象地域の土壌水分は微量であった．さらに，土壌水分と地形データを比較した結果，傾斜方位，傾斜角度の変化に関係無くランダムであった．また，土壌水分吸引力観測より，対象地域の土壌水分は地形の変化よりもむしろ太陽高度の影響を受けていることを示した．

篩による土壌粒度観測結果より，観測ポイントの土壌の 60%以上が細粒分であるため，各ポイントの粒度の特徴を把握するには，粗流分の分布の変化が重要であるといえた．しかし，観測に時間がかかりすぎるため，観測点数が十分とはいえなかった．

迅速に，より多くの観測点での土壌観測を行うために，地表面画像から粒度観測を行った．画像による粒度観測は目視で行い 5 つの粒度カテゴリに分類した．

土壌の分光反射をデジタルカメラの R,G,B の D.N 値を用いて推測した．その結果，対象地域の土壌の色は，ほぼ一定であるといえた．

3. 衛星画像と現地観測結果との比較研究

現地観測結果より，対象地域では，土壌水分は微量であり，地形の影響を受けないことを示した．また，土壌の色もほぼ一定であった．よって，対象地域において，衛星画像に与える土壌水分と土壌の色の影響は無視できる．

対象地域の衛星画像は地形による影の影響，粒度，構成物質，植生等の影響を強く受けていると考えられる．そこで，地形観測結果より作成した DEM からシェーディング画像を作成し，それを利用して衛星画像の精密な幾何補正を行う．次に，補正後の衛星画像とシェーディング画像とを比較し，衛星画像に与える地形の影響を把握する．その後，土壌粒度観測結果を用いて衛星画像と粒度の比較を行う．

3.1 使用衛星画像

現地観測結果との比較には，Landsat7-ETM の衛星画像を利用した．この衛星から取得できるデータは，空間分解能 30m で可視域 (R,G,B)，近赤外，短波長赤外が 2 つと熱赤外の 6 個の Band データと 空間分解能 15m のパンクロマチックの 1Band のデータである(表 3.1)．

対象地域は，2km×2km の範囲であるため，Landsat7-ETM で十分に対応できると共に，個々の波長帯のデータを幅広く得ているため，波長帯ごとの比較をするのに適した衛星データであるといえる．本研究では，土壌の分光反射率の高い，近赤外域，短波長赤外域のデータを使用するため，熱赤外とパンクロマチックの Band を除いた空間分解能 30m の 6 種の Band データを使用した．使用した衛星画像は 1999 年 10 月 28 日に取得された．

表 3.1 Landsat7-ETM のデータを持つ個々の Band 仕様

Band Name	WaveLength(μm)	Electromagnetic Wave	Resolution
1	0.45-0.52	Visible Rays	30m
2	0.52-0.60	Visible Rays	30m
3	0.63-0.69	Visible Rays	30m
4	0.75-0.90	Near IR	30m
5	1.55-1.75	Short Wave IR	30m
6	0.50-0.90	Panchromatic Data	15m
7	2.08-2.35	Short Wave IR	30m
8	10.40-12.50	Thermal IR	60m

IR : Infrared Radiation

3.2 衛星画像の精密幾何補正

対象地域は、均一な半砂漠の草原であるため、地上基準点の取得が困難である。したがって、衛星画像は、システム補正されたものを使用した。しかし、システム補正は、衛星位置・姿勢データの精度が十分でないため幾何学的な歪みの補正精度は低い。そこで、地形データよりシェーディング画像を作成し、より精密な幾何補正を試みた。

3.2.1 シェーディング画像の作成

地形観測結果より作成した DEM は、衛星画像と比較するため Landsat7-ETM と同様の 30m の格子のグリッドデータに変換した(図 3.2)。そのグリッドデータからランベルトの余弦則を用いて、シェーディング画像を作成した(図 3.3)。厳密には、表面の反射率や大気の光学的厚さについてのパラメータが必要であるが、ここでは後に統計的な処理を施すため、それらを無視して計算した。本研究では、式(3.2.1)に示すように、光源の方向ベクトルと地表に対する法線ベクトルの余弦の値を直接利用した。シェーディング画像を作成する際に必要な太陽方位、角度は、衛星がデータを取得した日時のものを使用した。

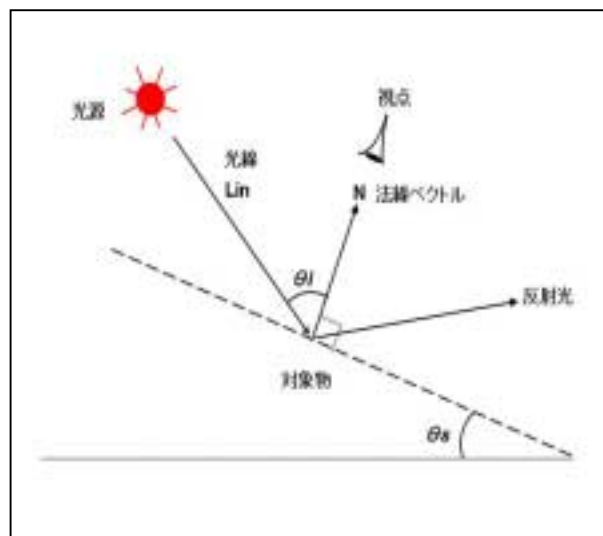


図 3.1 シェーディング

$$Ld = Lin \cos \theta_i \quad (3.2.1)$$

Ld : 光源の散乱輝度

Lin : 光源の輝度

i : 光線と対象物の法線ベクトルのなす角

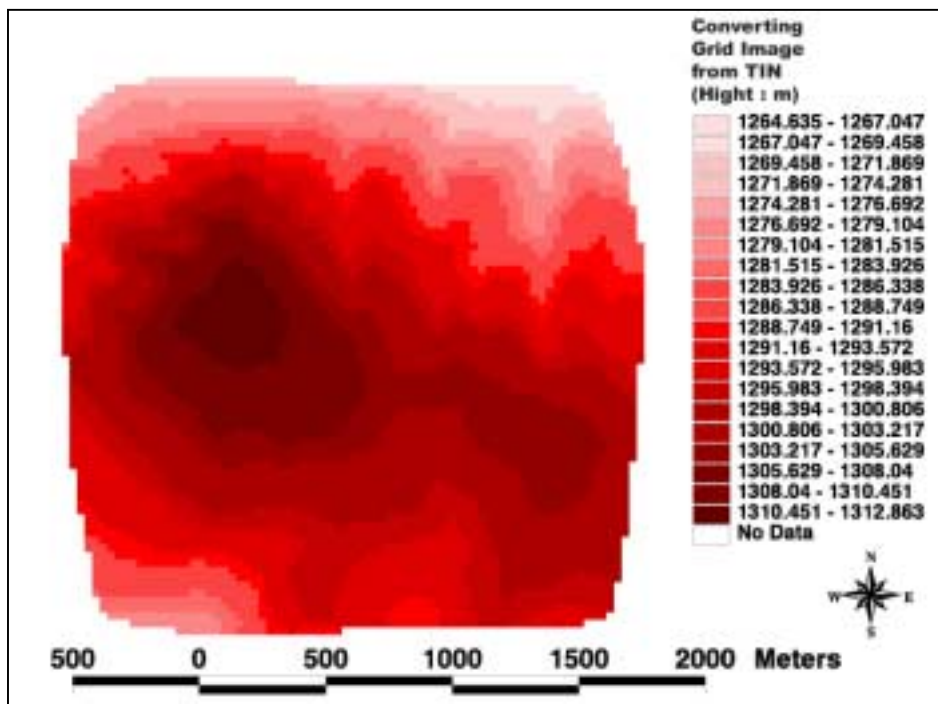


図 3.2 TIN より作成した標高のグリッドデータ (30m メッシュ)

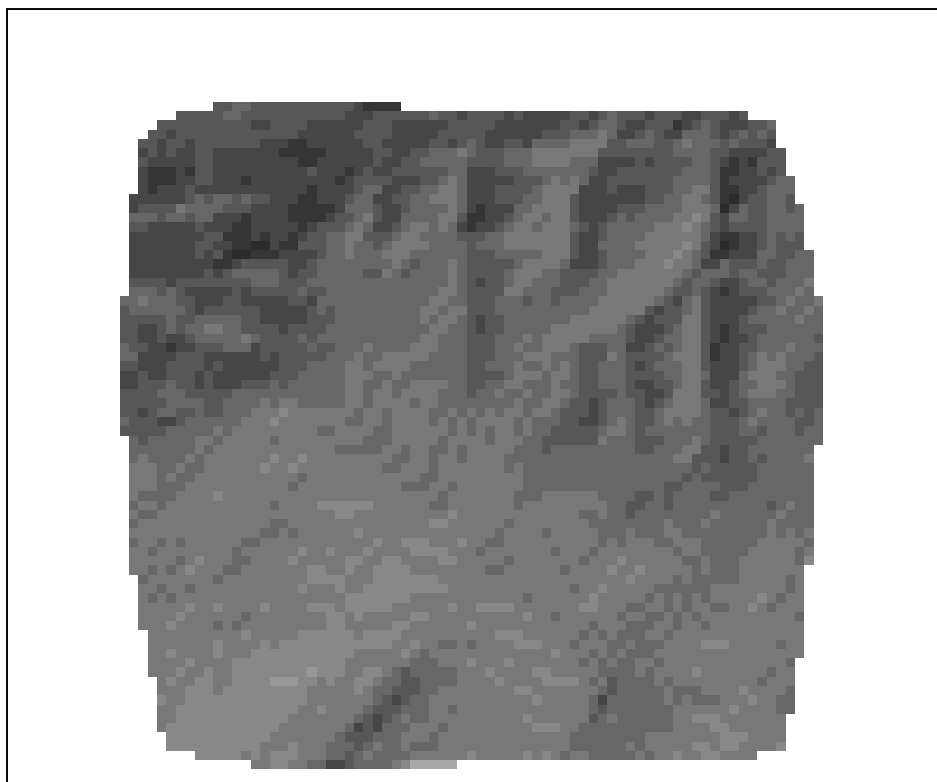


図 3.3 対象地域のシェーディング画像

3.2.2 シェーディング画像と衛星画像による相関を用いた幾何補正

シェーディング画像を移動させながら，衛星画像ともっとも相関の高いポイント探し，新しい補正点とするより精密な幾何補正を行った．なお，その際にはシェーディング画像と相関の高いと思われる Band 7 のデータを使用した．

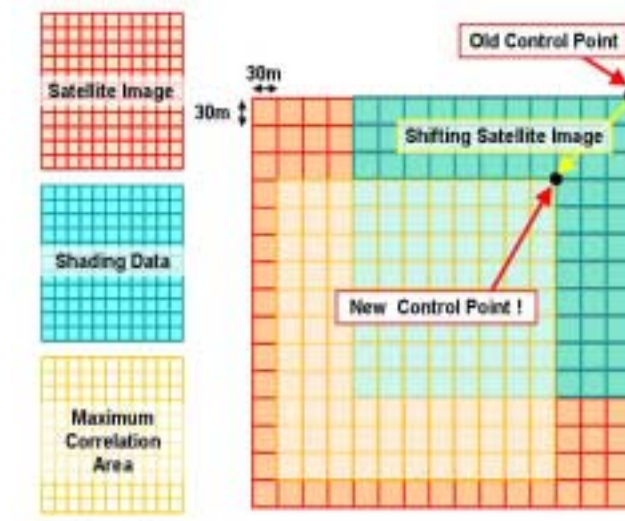


図 3.4 シェーディング画像と衛星画像の相関を利用した幾何補正

3.3 衛星画像と地形との関係

幾何補正の際に作成したシェーディング画像と補正後の衛星画像の各 Band との相関を調べることで，対象地域の衛星画像に与える地形の影響を把握していく．さらに，地形との相関が高い場合には，衛星画像とシェーディングとの相関関係を無くすことにより，衛星画像から地形の影響の除去を試みる．

3.3.1 各 Band とシェーディング画像との相関関係

衛星画像に与える地形の影響を把握するために，シェーディング画像と補正後の Landsat7-ETM の各 Band との相関係数を求めた(表 3.2)．その結果，Band4,5,7 においては，相関係数が 0.75 以上であり，高い相関を持っていることを示した．

$$\rho_{sx} = \frac{Cov(S, X)}{\sigma_s \cdot \sigma_x} \quad (3.3.1)$$

$$Cov(S, X) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (s_i - \mu_s)(x_i - \mu_x) \quad (3.3.2)$$

$$\begin{aligned} \sigma_s^2 &= \frac{1}{n} \sum (s_i - \mu_s)^2 \\ \sigma_x^2 &= \frac{1}{n} \sum (x_i - \mu_x)^2 \end{aligned} \quad (3.3.3)$$

ρ_{sx} : シェーディング画像と Landsat7 の各 Band の相関係数
 $Cov(S, X)$: シェーディング画像と Landsat7 の各 Band の共分散
 μ_s : シェーディング画像の平均値 μ_x : Landsat7 各 Band の平均値
 s_i : シェーディングの各画素値 x_i : Landsat7 各 Band の各画素値
 σ_s : シェーディングの標準偏差 σ_x : Landsat7 各 Band の標準偏差

表 3.2 Landsat7-ETM の各 Band とシェーディング画像との相関関係

Band Num.	Correlation Coef.
Band 1	0.40
Band 2	0.53
Band 3	0.65
Band 4	0.76
Band 5	0.78
Band 7	0.75

3.3.2 地形の影響を除去した画像の作成

シェーディング画像との相関が高かった，Band4,5,7 の衛星画像においては，その相関を除去することにより，衛星画像から地形の影響の除去を試みた．図 3.5，3.6，3.7 はシェーディングと Band4,5,7 の関係を示している．回帰分析により各グラフとも，回帰直線の傾きと切片を求めた．回帰直線の数式，パラメータは式 3.3.4 に示す．

$$X = A \times S + B \quad (3.3.4)$$

X : Landsat7 -ETM Band4,5,7 の予測値

A : 1.846 (Band4) , 3.487 (Band5) , 2.816 (Band7)

B : -79.480 (Band4) , -200.868 (Band5) , -159.810 (Band7)

S : シェーディングの値

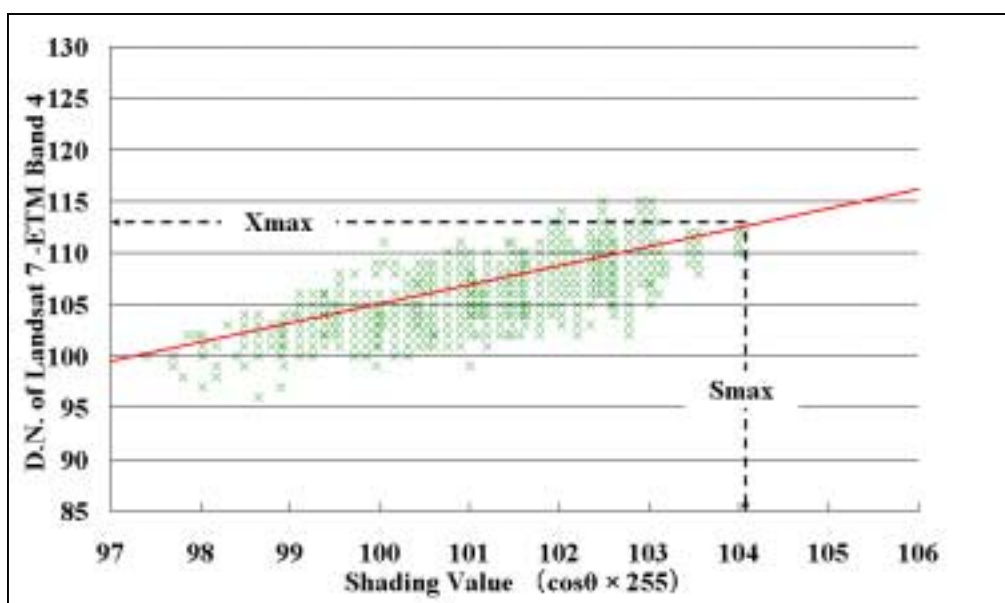


図 3.5 Landsat7-ETM Band4 とシェーディング画像との関係

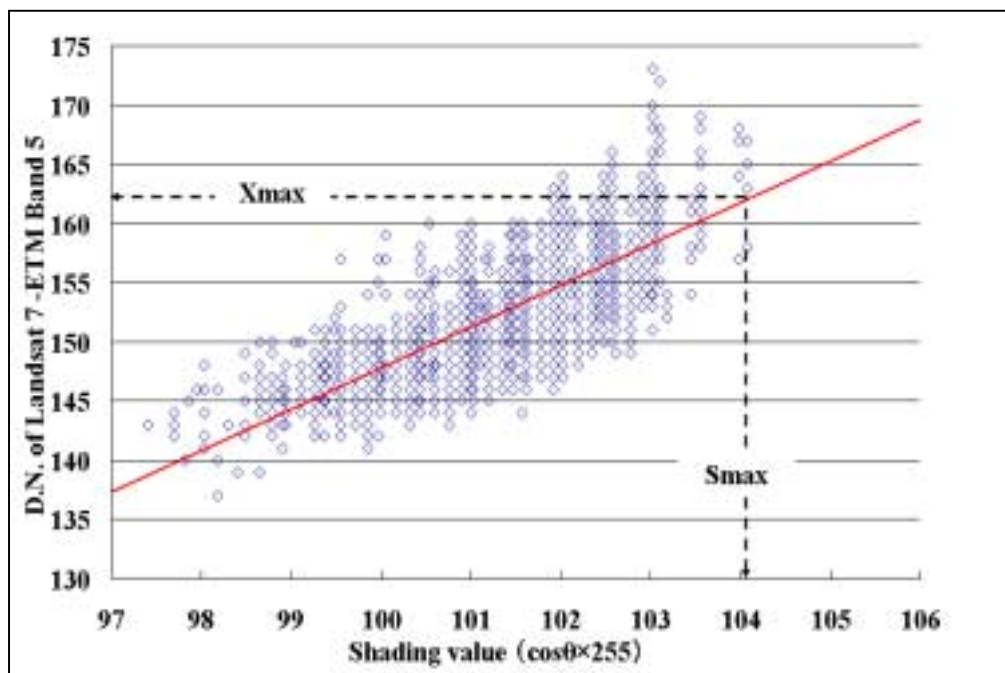


図 3.6 Landsat7 -ETM Band5 とシェーディング画像との関係

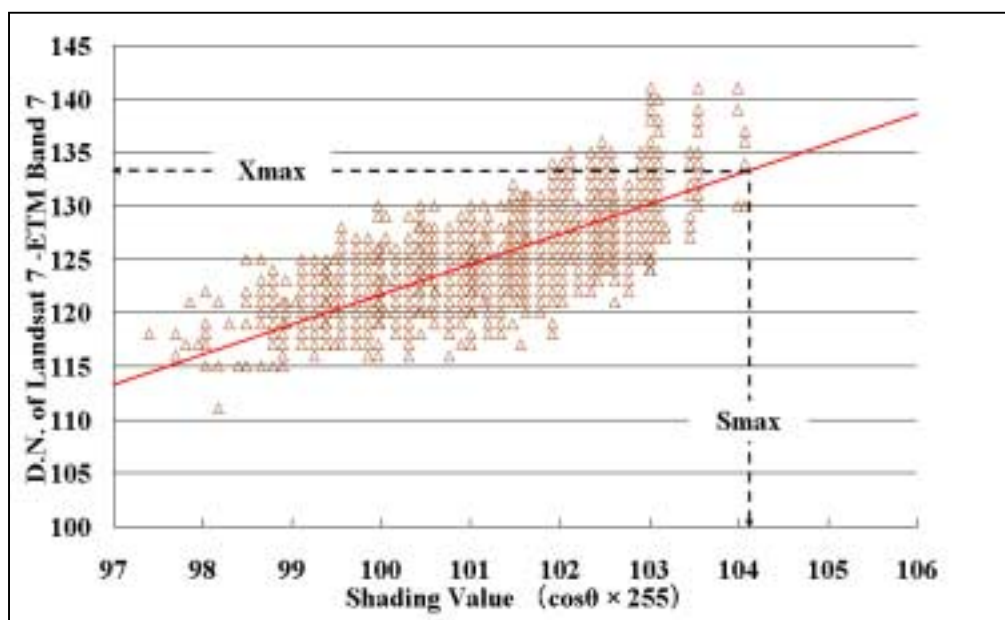


図 3.7 Landsat7 -ETM Band7 とシェーディング画像との関係

式(3.3.5)では，衛星画像の各画素 X_{ij} に変換係数 C_{ij} を乗ずる事でシェーディングと衛星画像の相関は無くす事ができる．変換係数 C_{ij} は衛星画像の最大予測値 X_{max} と各シェーディングの値に対応する衛星画像の予測値の比で表す事ができる． C_{ij} の求め方は式(3.3.6)に示す．

地形の影響を除去する前の Band 4,5,7 の衛星画像を図 3.8,3.10,3.12 に示す．また，除去した後の画像を図 3.9,3.11,3.13 に示す．その結果，各 Band の衛星画像から，シェーディングによる地形の影響は除去することができた．今後，本論文では，この地形の影響を除去した画像を補正画像と記す．

$$Y_{ij} = C_{ij} \times X_{ij} \quad (3.3.5)$$

$$C_{ij} = X_{max} / (Gain \times S_{ij} + Offset) \quad (3.3.6)$$

Y_{ij} : i 列 j 行の変換後の値

C_{ij} : i 列 j 行の変換係数

X_{ij} : i 列 j 行の衛星画像の値

S_{max} : シェーディング画像の Max 値

X_{max} : S_{max} 値の衛星画像の最大予測値

S_{ij} : i 列 j 行のシェーディングの値

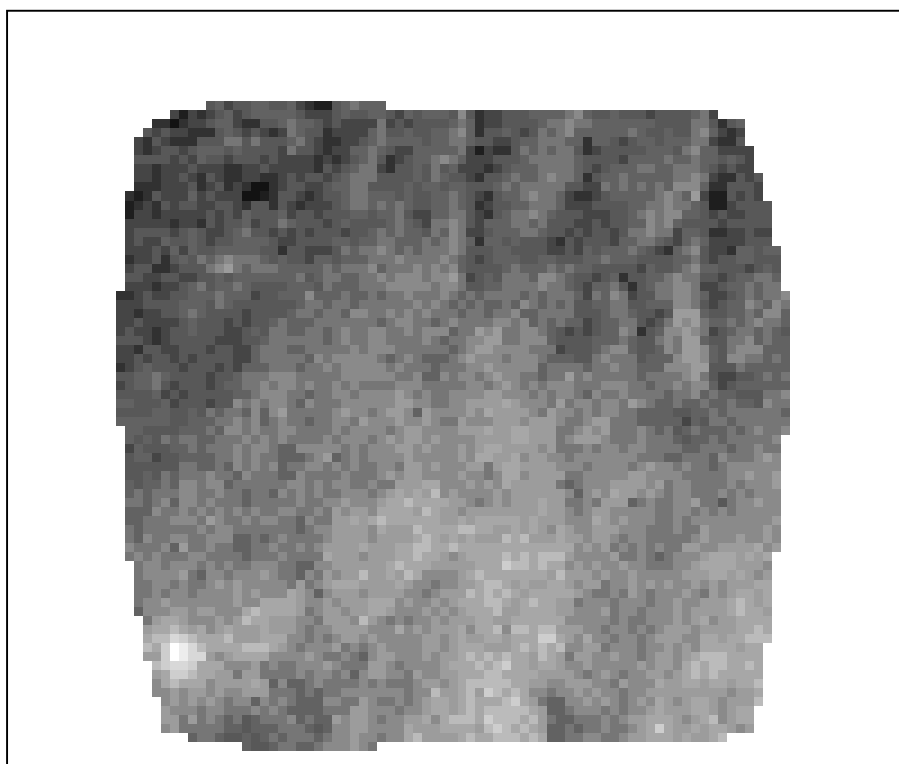


図 3.8 Landsat7-ETM Band4 の画像（補正前）

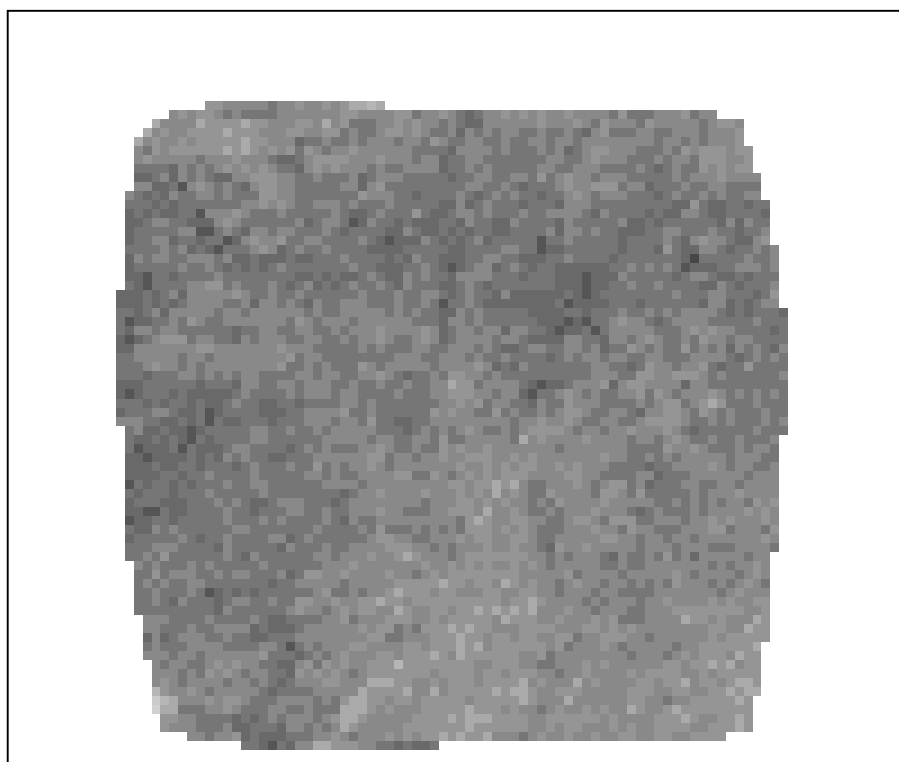


図 3.9 Landsat7-ETM Band4 の補正画像

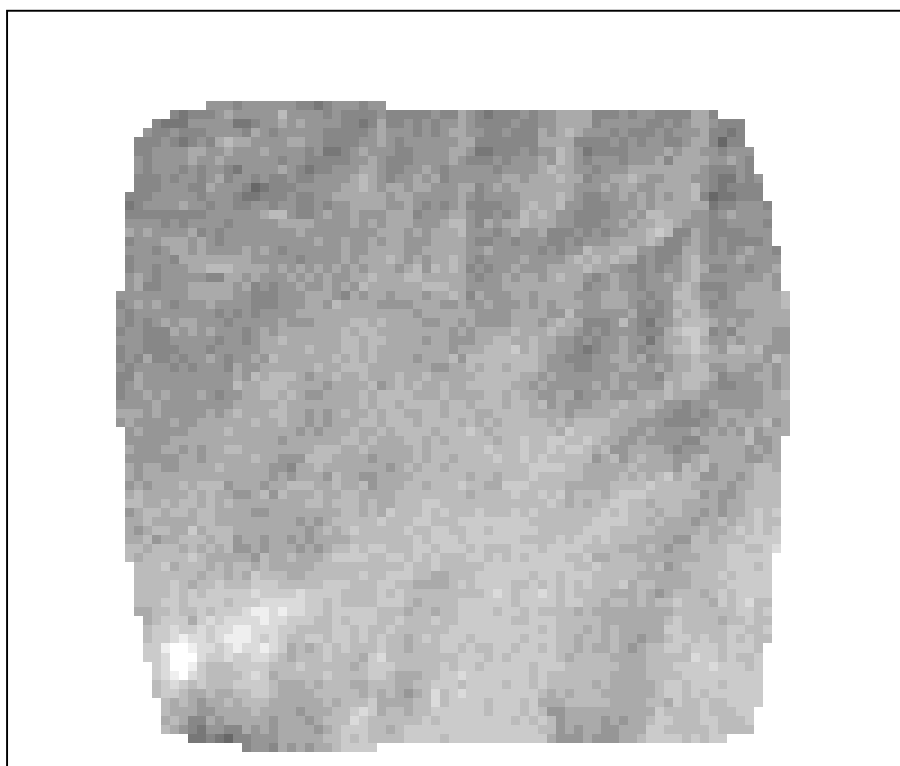


図 3.10 Landsat7 -ETM Band5 の画像 （補正前）

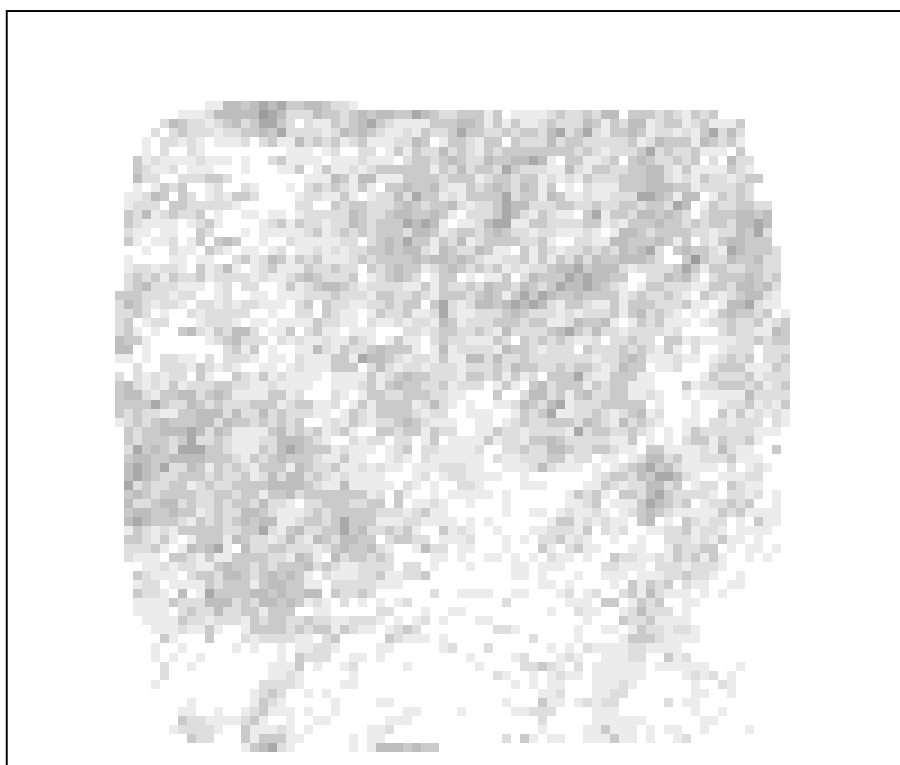


図 3.11 Landsat7 -ETM Band5 の補正画像

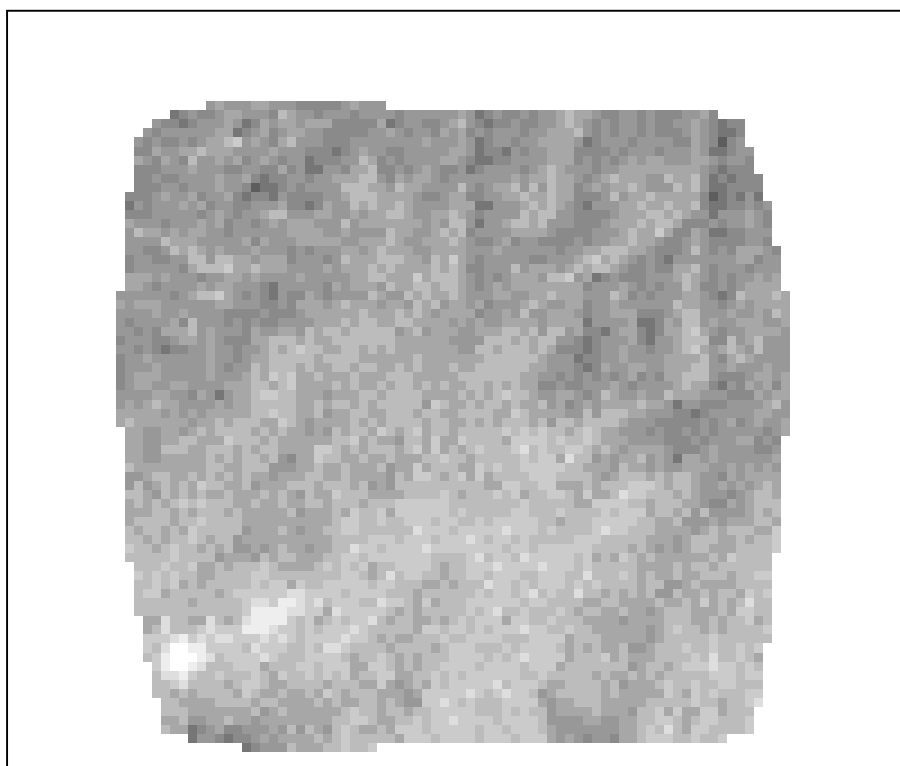


図 3.12 Landsat7 -ETM Band7 の画像 (補正前)

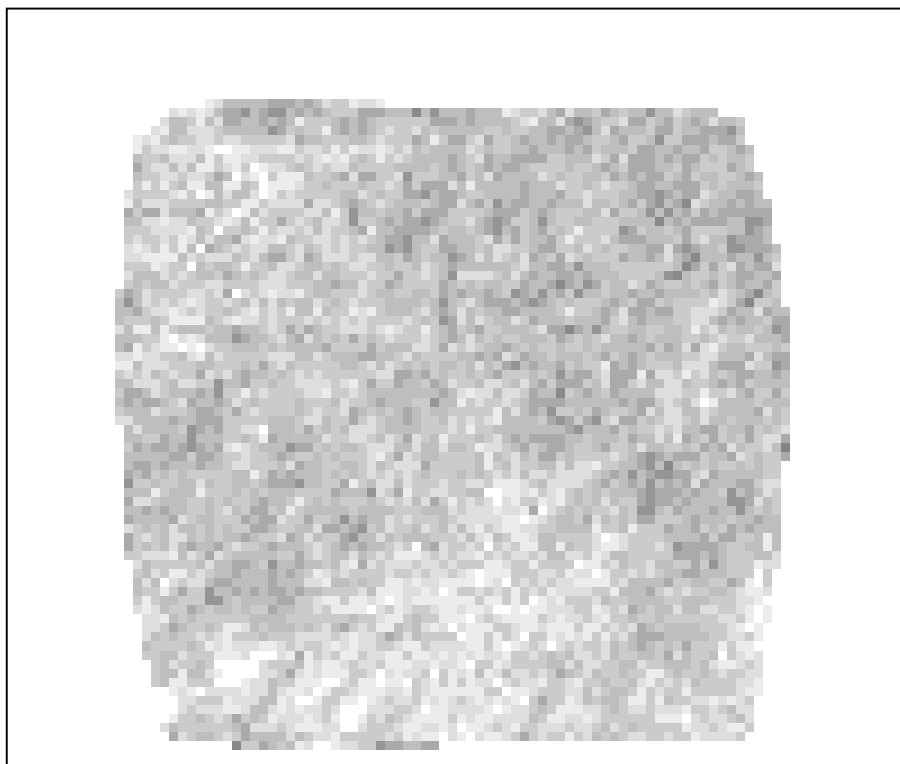


図 3.13 Landsat7 -ETM Band7 の補正画像

3.4 地形の影響を除去した画像と粒度の関係

作成された補正画像の明暗が，土壌粒度の影響を示しているのかどうか確かめるために，画像からの土壌粒度観測結果を使用して，各 Band の補正画像の値との比較を行った．

Band4 は近赤外域のデータであるため，補正画像の値の変化は植生の影響も大きいと考えられる．そこで，植生の影響を調べるために，Band3 の衛星画像からも地形の影響を除去したうえで，式(3.4.2)を使用して，Band4 と Band3 の補正画像から NDVI(Normalized Difference Vegetation Index：正規化植生指標)を計算した．

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R} \quad (3.4.1)$$

IR：Infrared Band

R：Red Color Band

$$NDVI(Landsat7) = \frac{Band4 - Band3}{Band4 + Band3} \quad (3.4.2)$$

その結果，NDVI の平均は-0.031 と非常に低い値を示し，対象地域一帯において植生は非常に乏しいことを示した．また，各粒度観測ポイントの植生指標の把握も行った．

観測ポイントの NDVI が小さいほど，土壌の状態が衛星画像に与える影響は大きくなると考えられる．そこで，粒度観測ポイントの NDVI は 0 から-0.06 の範囲に存在しているので，NDVI を 0～-0.02，-0.02～-0.03，-0.03～-0.04，-0.04～-0.06 の4範囲に分類し比較を行った．図 3.14,3.15,3.16 は，各粒度カテゴリにおける各 Band の補正画像の値を示している．直線グラフの縦のラインは標準偏差を示す．

図 3.14 より，Band4 においては，NDVI が高いほど補正画像の値が高い傾向を示したが，粒度の大きさによる値の変化はみられなかった．

図 3.15 より，Band5 の補正画像の値は，粒度，植生共に特に大きな傾向を示さなかった．

表 3.3 各 NDVI の分類範囲のデータ数

Category of Soil Grading	NDVI Range from 0 to -0.02	NDVI Range from -0.02 to -0.03	NDVI Range from -0.03 to -0.04	NDVI Range from -0.04 to -0.06
1	14	27	25	8
2	13	41	68	15
3	9	27	48	21
4	1	4	8	5
5			4	2

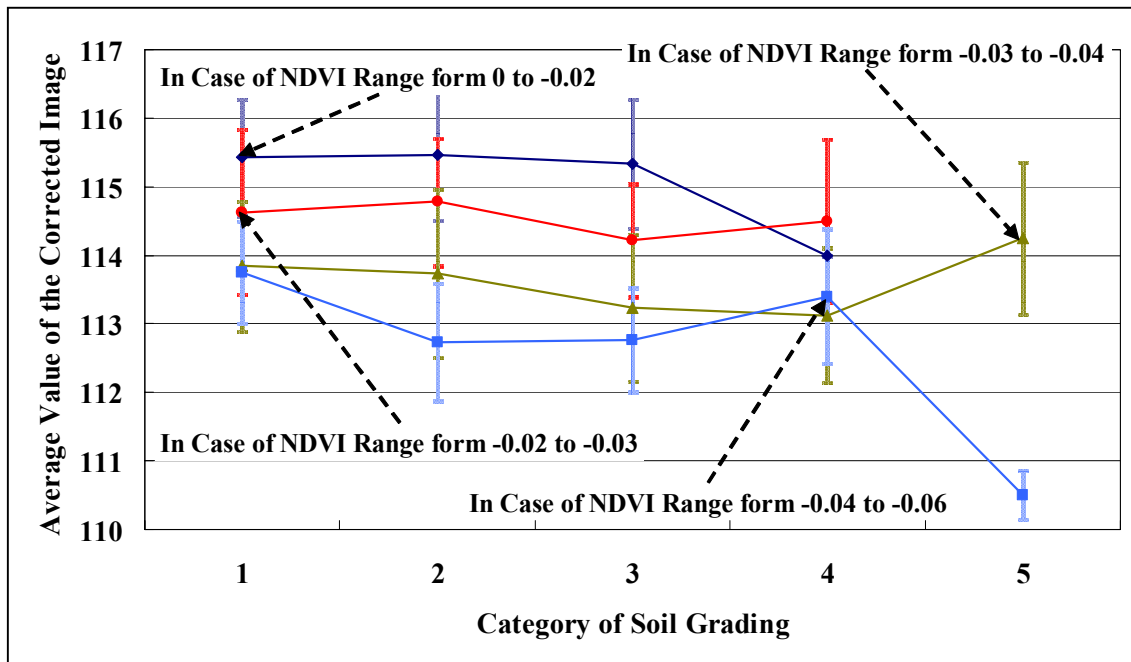


図 3.14 各粒度カテゴリにおける補正画像の値 (Band4(植被率別))

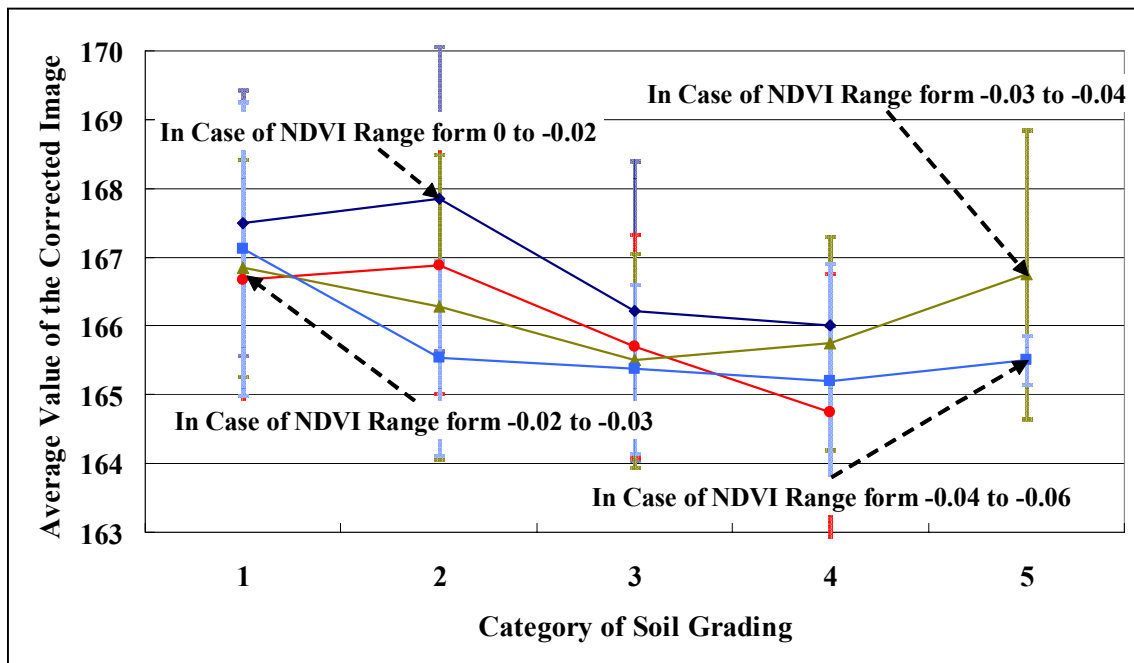


図 3.15 各粒度カテゴリにおける補正画像の値 (Band5(植被率別))

図 3.16 より，Band7 においては，粒度が大きくなるに従って補正画像の値が下降していく傾向を示した．また，それは，NDVI の値が低いほど強い傾向を示した．砂利などの粗粒分の多いポイントほどそれ自身の影の面積が大きくなるため反射が低くなり，細粒分が多いほど影が少なく高い反射を示すためと考えられる．しかし，粒度カテゴリ 1 から 5 の補正画像の値の差が約 3 カウントと小さいのに対し，各粒度カテゴリの標準偏差も約 3 カウントであり，各粒度カテゴリの補正画像の値の分散は大きいことを示した．

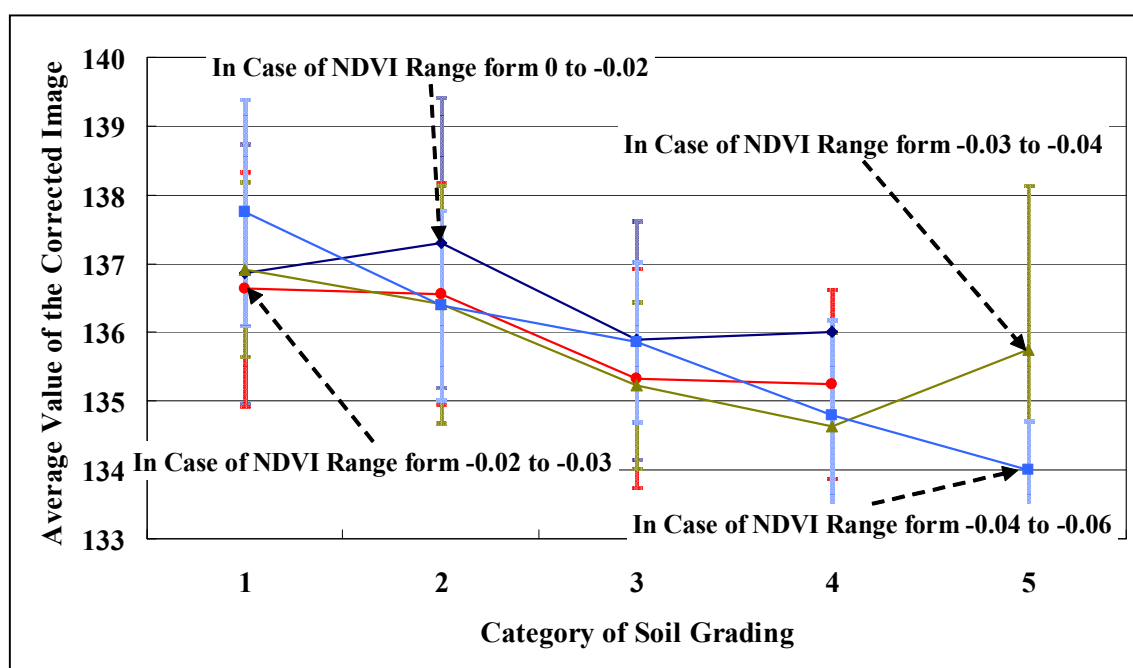


図 3.16 各粒度カテゴリにおける補正画像の値 (Band7(植被率別))

3.5 まとめ

地形観測結果より作成したシェーディング画像を用いることで、対象地域の衛星画像の精密な幾何補正を行った。

幾何補正された衛星画像とシェーディング画像との相関を調べた結果、Band4,5,7 の相関が高いことを示した。その相関を無くすことで地形の影響を除去した補正画像を作成することができた。

補正画像の値の変化が土壌粒度の影響によるものかどうか把握するために、植生の影響として NDVI を考慮しつつ粒度観測結果との比較を行った。その結果、近赤外域の波長帯を持つ Band4 の補正画像の値は、粒度より植生の影響を強く示した。Band5 においては粒度、植生共に特に傾向を示さなかった。Band7 においては全体的に粒度が高くなるにしたがって補正画像の値が下降する傾向を示した。その傾向は NDVI が低ければ低いほど、明確になった。しかし、各粒度カテゴリの補正画像の値の分布は、大きいことを示した。

4. 結論

モンゴル草原での土壌観測に関して

地形観測結果より地形モデルを作成し、地形データと土壌水分とを比較したところ、対象地域では土壌水分は地形の影響を受けないことがわかった。また、土壌水分は非常に微量であるため、衛星画像に与える影響は少ないので無視できると判断した。

デジタルカメラで撮影した地表面画像から土壌の色を把握した結果、粒度の大きさに関係なく、観測ポイントの土壌の分光状態はほぼ一定であると推測できた。データ取得ポイントが対象地域全体に存在することから、対象地域の土壌の分光状態はほぼ一定であると判断した。

以上、土壌水分、土壌の色の変化は、対象地域において衛星画像に与える影響は無視できることがわかった。

Landsat7-ETM と現地観測結果との比較研究に関して

現地観測結果より、対象地域において、土壌水分、土壌の色の変化が、衛星画像に与える影響は無視できると判断された。そこで、衛星画像と、地形、土壌粒度の現地観測結果とを比較し、衛星画像に与える影響を把握した。

幾何補正された衛星画像とシェーディング画像との相関を調べた結果、Band4,5,7 の相関が高いことを示した。その相関を無くすことで、地形の影響を除去した補正画像を作成することができた。

補正画像の値の変化が、土壌粒度の影響によるものかどうか把握するために、植生の影響として NDVI を考慮しつつ粒度観測結果との比較を行った。その結果、近赤外域の波長帯を持つ Band4 の補正画像の値は、粒度より植生の影響を強く示した。Band5 においては粒度、植生共に特に傾向を示さなかった。しかし、Band7 においては全体的に粒度が高くなるにしたがって補正画像の値が下降する傾向を示した。それは、砂利などの粗流分の多いポイントほどそれ自身の影の面積が大きくなるため反射が低くなり、細粒分が多いほど影が少なく高い反射を示すためと考えられる。その傾向は NDVI が低ければ低いほど、明確になることを示した。

以上の結果から、対象地域においては、地形を把握することができれば、Landsat7 -ETM Band7 の画像を用いることにより土壌粒度の大きさを計量的に推定することが可能であると期待できる。しかし、各カテゴリの補正画像の値は大きく分散しており誤差が非常に大きかった。

今後は、この誤差を小さくすることで、衛星画像からの土壌粒度の把握をより高精度化していく必要がある。誤差の原因のひとつとして、土壌の組成による原因が考えられる。

したがって、現地で土壌の分光反射測定を行い、地表面画像の R,G,B だけでなく、短波長赤外域の分光データとの比較を行う必要がある。また、今回は、対象地域の 2km 四方で限定して行っているため、他地域での検証が行われていない。よって、他にも多くのテストエリアを設けて観測を行う必要がある。

さらに、誤差の原因として植生の影響があげられる。本研究では、現地観測の月日から 2 ヶ月後に取得した Landsat7-ETM の画像を使用している。土壌の状態は、時期を問わずほぼ一定であるが、植生は、雨季と乾季による気候に変化による影響は大きい。土壌粒度の把握をより明確にするには、現地観測と同時期の衛星画像を使用し、NDVI と現地観測より取得した植生の分光データとの比較を行い、衛星画像に与える植生の影響もより明確にしなければならない。また、NDVI の経時変化を把握することで、どの時期の衛星画像を使用しても、土壌粒度の把握を可能できるようにする必要がある。

また、Landsat7-ETM の Band5,7 は、同じ短波長域のデータなのに対し、土壌粒度の影響を把握する際に異なる傾向を示した。よって、土壌の状態をより正確に把握するためには、短波長域の Band がより多く存在する ASTER などの衛星画像を用いた研究も必要である。

参考・引用文献

- 1) Lesley-Ann, Dupigny-Giroux, John E. Lewis, "A Moisture Index for Surface Characterization over a semiarid Area", *Photogrammetric Engineering. & Remote Sensing* Vol65, No.8, August 1999, pp.937 - 945
- 2) Phillip T. Giles, "Remote Sensing and Cast Shadows in Mountains Terrain" *Photogrammetric Engineering. & Remote Sensing* Vol67, No.7, July 2001, pp.833-839
- 3) Compton J. Tucker, "Ecologically Coupled Vector Borne Disease Detection Using NASA Earth Science Enterprise Satellite Data", NASA Goddard Flight Space Center, <http://healthyplanet.gsfc.nasa.gov/vector.pdf>
- 4) Beata HEJMANOWSKA, Stanislaw MULARZ, "Integration of Multitemporal ERS.2 SAR and Landsat TM Data for Soil Moisture Assessment", *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Amsterdam the Netherlands 2000, COMMISSION VII*, pp.511 - 518
- 5) Benediktas JANKAUSKAS "Modeling of Terrestrial Erosion and Change of Soil Features under Soil Erosion on the Hilly Relief of Lithuania", *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Amsterdam the Netherlands 2000, COMMISSION VII*, pp.615 - 622
- 6) J.SOMASUNDARAM, S.NATARAJAN, K.K. MATHAN, VARUNKUMAR, "Soil Resource Appraisal in Lower Vellar Basin, Tamil Nadu, India using Remote Sensing Techniques", *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Amsterdam the Netherlands 2000, COMMISSION VII*, pp.623 - 628
- 7) Marek MRÓZ, Stanislaw BIAŁOUSZ, "Application of Spot Images and Forest Vegetation Maps for Creation of the Database for Forested Soils using GIS Modeling", *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Amsterdam the Netherlands 2000, COMMISSION VII*, pp.911 - 919
- 8) Izaya NUMATA, Joao V. SOARES, Getulia T. BATISTA, Dar A. ROBERTS, Oliver A. CHADWICK, "Evaluation of the Conversion from Forest to Pasture using Remote Sensing for Soil Fertility Analysis", *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Amsterdam the Netherlands 2000, COMMISSION VII*, pp.1033 - 1038
- 9) Ohamobi, C.O Ofoegbu, "Soil Engineering Interpretation for Road Allocation in Sokoto State Nigeria", *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Amsterdam the Netherlands 2000, COMMISSION VII*, pp.1058 - 1064
- 10) Hermes Nóbrega Barreira Barro de oliveira, Olga Regina Pereira Bello Klaus de Geus, "Segmentation and Classification of Landsat -TM Images to Monitor the Soil Use", *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Amsterdam the Netherlands 2000, COMMISSION VII*, pp.1065 - 1072

- 11) Dirley SCHMIDLEN, Roberto FENDRICH “The Use of Remote Sensing in Determination of the Impermeable Soil Growth in the Belem River Basin Area”, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Amsterdam the Netherlands 2000, COMMISSION VII, pp.1333 - 1340
- 12) Massaki SHIKADA, Junko YAMASHITA, “Design and Simulation of Soil Saving Dams in the Mountain Areas by using GIS with Digital Elevation”, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Amsterdam the Netherlands 2000, COMMISSION VII, pp.1377 - 1384
- 13) Shoshany, M., Sarah, P., Jarmer, T., Hill, J, Lavee, H., “Field and Satellite Radiometry of Soil Erodibility along the Climatic Gradient of the Judean Desert, Israel”, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Amsterdam the Netherlands 2000, COMMISSION VII, pp.1385 - 1388
- 14) Observatory News NASA, “Radio-Controlled Helicopter to Check Space Views of LandCover”, <http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/Campaigns/HueteHelicopter.html>
- 15) ADEOS Mongolian Plateau Experiment for Ground Truth, “AMSR Team /Hydrology & Meteorology Section,” <http://home.hiroshima-u.ac.jp/~ampex/hm/>
- 16) Atsuo YOSHINO, Masataka TAKAGI, “The possibility of soil Monitoring using Satellite Remote Sensing in Mongolian Grassland”, 22d Asian Conference on Remote Sensing 2001, pp.30 - 33
- 17) Atsuo YOSHINO, Masataka TAKAGI, Koji KAJIWARA, Yoshiaki HONDA, “The Influence of soil condition to Satellite Image in Mongolian Grassland”, 23rd Asian Conference on Remote Sensing 2002
- 18) 本多嘉明, “衛星画像による植物生産量推定手法の開発”, 科学技術振興財団戦略的基礎研究平成 10 年度研究年報 (1999), pp.884 - 888
- 19) 本多嘉明, “衛星画像による植物生産量推定手法の開発”, 科学技術振興財団戦略的基礎研究平成 11 年度研究年報 (2000), pp.1154 - 1161
- 20) 栗田圭人, 山本浩万, 梶原康司, 橋本俊昭, 本多嘉明, “現地観測データを用いた広域バイオマス推定の検証方法に関する研究”, 日本写真測量学会平成 11 年度年次学術講演会発表論文集 (1999), pp15 - 18
- 21) 近田朝子, 山本浩万, 梶原康司, 本多嘉明, “衛星データを対象とした BRF モデルを用いた草地植生の草丈算出に関する研究” 写真測量とリモートセンシング, 日本写真測量学会, 2001, Vol.40, No.6, pp.15 - 24
- 22) 山本浩万, 近田朝子, 橋本俊昭, 梶原康司, 本多嘉明 “モンゴル草原における NOAA AVHRR LAC データと現地観測データを併用した広域バイオマス推定に関する研究” 写真測量とリモートセンシング, 日本写真測量学会, 2001, Vol.40, No.6, pp.25 - 37
- 23) 増渕浩之, “デジタル画像からの植生被覆率自動算出に関する研究”, 平成 10 年度千葉大

学工学部情報工学科業論文 (1999)

- 24) 増渕浩之, “ステレオ画像解析によるバイオマスステイ手法の開発”, 平成 12 年度千葉大学学位申請論文 (2001)
- 25) 山本浩万, “衛星データと現地観測データの併用による広域バイオマスマッピングに関する研究”, 平成 11 年度千葉大学学位申請論文 (2000)
- 26) 濱野裕之, 田原堰聖隆, 小島紀徳, 山田興一, “乾燥地における飽和透水係数の原位置測定及び土層構造解析” 農業土木学会論文集, 農業土木学会, 2001.12, No.216, p.33 – 40
- 27) 深見和彦, 岡田拓也, 吉谷純一, “TLS を用いた河川区域情報収集手法の検討”, 日本写真測量学会平成 14 年度年次学術講演会発表論文集 (2002), pp185 - 188
- 28) 門田貴江, 吉野敦雄, 高木方隆, “地形測量における測点数と精度の関係”, 平成 12 年度日本写真測量学会秋期学術講演会発表論文集 (2000), pp.247 – 250
- 29) 吉野敦雄, 高木方隆, 村上雅博, “植生リモートセンシングにおけるモンゴル草原の土壌観測” 第 10 回日本沙漠学会講演要旨集 (1999), pp.45 - 46
- 30) 吉野敦雄, 門田貴江, 高木方隆, “衛星画像による草原での土壌観測の可能性”, 平成 13 年度年次日本写真測量学会学術講演会発表論文集 (2001), pp.85 - 250
- 31) 動体計測学会, イメージセンシング(1999), 社団法人日本測量協会, p.83

謝辞

本研究を学位論文としてまとめるにあたり，高知工科大学社会システム工学科の高木方隆助教授には，本研究の開始から観測技術，研究理論，研究理念，解析にわたる研究全般にわたり終始，懇切なるご指導とご鞭撻を賜り，本論文の内容についても多くの貴重なご意見を賜りました．同学科の藤澤伸光教授には，本論文の内容について多くの貴重なご意見を賜りました．同大学の物質環境システム工学科の大内和夫教授には，本論文の内容について多くの貴重なご意見を賜りました．千葉大学環境リモートセンシングセンターの本多嘉明助教授には，5 年間にわたりモンゴルなどの現地観測にご同行させて戴きました．さらに，観測技術，研究理論，研究理念について懇切たるご指導，ご鞭撻と多くの貴重なご意見を賜りました．同センターの梶原康司講師には，5 年間にわたりモンゴルなどの現地観測にて，観測技術，研究理論について多くのご意見と懇切たるご指導，ご鞭撻を賜りました．NASDA の橋本俊昭氏，山本浩万氏，CREST の近田朝子氏には，5 年間にわたるモンゴルなどの観測にて多くのご協力，ご支援を賜りました．千葉大学環境リモートセンシングセンター本多・梶原研究室の学生，卒業生の皆様には，5 年間にわたるモンゴルにて観測にて多くのご協力，ご支援を賜りました．千葉大学環境リモートセンシングセンターの高村研，長崎大学の森山研の学生，卒業生の皆様には，モンゴルにて観測にて多くのご協力，ご支援を賜りました．ここに謹んで感謝の意を表するとともに，厚く御礼申し上げます．

研究以外でも，総合地球環境学研究所の吉村充則助教授，JST・CREST の山下恵氏には，マレーシア観測にてご協力，ご支援を賜りました．さらに学科秘書の西村様，山本様には多くのご協力，ご支援を賜りました．厚く御礼申し上げます．

また，高知工科大学社会システム工学科高木研究室のジョンさん，菊地君，光岡君を始めとした学生，卒業生の皆様には多くのご協力，ご支援を戴きました．心より感謝いたします．

A 学会発表論文

A.1 第 10 回日本沙漠学会学術講演会 (1999)

植生リモートセンシングにおけるモンゴル草原での土壌観測

吉野敦雄

高木方隆

村上雅博

高知工科大学

A.2 日本写真測量学会平成 13 年度学術講演会 (2001)

衛星画像による草原での土壌観測の可能性

吉野敦雄

門田貴江

高木方隆

高知工科大学

A.3 22nd ASIAN CONFERENCE ON REMOTE SENSING 2001

**THE POSSIBILTY OF SOIL MONITORING USING SATELLITE REMOTESENSING
IN THE MONGOLIAN GRASSLAND**

Atsuo YOSHINO

Masataka TAKAGI

Kochi University of Technology

JAPAN

A.4 23rd ASIAN CONFERENCE ON REMOTE SENSING 2002

**THE INFLUENCE OF SOIL CONDITION TO SATELLITE IMAGE
IN MONGOLIAN GRASSLAND**

Atsuo YOSHINO*

Masataka TAKAGI*

Koji KAJIWARA**

Yoshiaki HONDA**

Kochi University of Technology*

Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University**

JAPAN

(A.1) 植生リモートセンシングにおけるモンゴル草原の土壌観測

○吉野敦雄（高知工科大学），高木方隆（高知工科大学），村上雅博（高知工科大学）

1. はじめに

今発表は、千葉大学附属環境リモートセンシングセンターの本多研究室によって、1998年8月に行われたモンゴルプロジェクトにおける共同研究の一環である。植生リモートセンシングとは、衛星によって植物の変化を捉える技術であり、今後、砂漠化など地球規模のさまざまな問題を解決するために重要になると思われる。我々は、そのプロジェクトにおいて土壌観測を担当し、その結果を用いて考察した。

2. 目的

今回の植生リモートセンシングで使用する衛星 NOAA の AVHRR 画像は、1km²の分解能であるため、地上の被覆状態が均一でなければ対比することが難しい。モンゴル草原はその条件をよく満たし、晴天率も高いことから、適所として選ばれた。

土壌観測の目的は、人工衛星のデータと関連づけるために、植物の分布、量の関係とともに、実際の調査結果と比較することにある。それゆえに、考察する材料として、下記の4つの測定を試みた。

①含水量測定、②粒度測定、③酸度測定、④硬度測定

3. 手法

このプロジェクトは、ウランバートルから南へ 350km ほど下った所にあるドント・ゴビ県、マンダル=ゴビ (Mandal Gobi) で行われた。(地図-1 参照)

草原の中に7つの穴を掘りそこを観測点とし、土壌測定を行った。深さは約1m、幅は約40cmである。

3-1. 土壌含水量測定：土壌水分比はFDR土壌水分計により測定した。さらに、土壌水分の吸引力の測定をテンシオメータで行った。一般に吸引力測定は、吸引力が高い場合、土壌含水比は低くなる。ただし、土壌含水比だけでなく、粒度や土の化学的要素も作用する。

3-2. 土の粒度分析：供試土は 0.075mm から 80mm のふるいにかけて、粒度分析を行った。

3-3. 土壌の酸度と硬度：酸度は酸度計を用いて Ph 測定した。硬度はスプリングを利用した山中式硬度計を用いた。

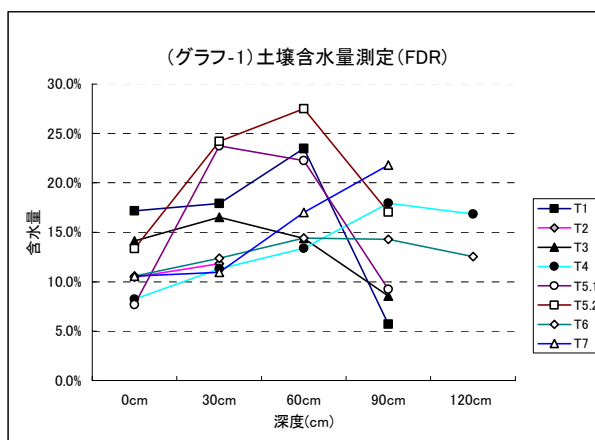
4. 結果

4-1. 土壌含水量測定：グラフ-1は土壌含水比と深度の関係を表す。30～60cmの間は上向きの傾向であるから、含水比は高いことを示している。また、草の根が 30～60cm の深度まで伸びていたことから、その間が特に水分が多いことがわかる。

吸引力測定は、気象の影響とともに、毎日変化があり、深夜にピークを迎えた。

4-2. 土の粒度分析：モンゴル草原は丘陵の大地であるため、観測点の標高による粒度の変化が著しい。表-1の均等係数より、非常に粒度分布が良くないことがわかる。ところが、T2 地点は非常に分布が良い結果になっている。だが、それは他地点と比べて砂利やレキの割合が極端に多かったためである。もっとも、粒度の高いものが多いことから、水の通りが良いといえる。

(地図-1) モンゴル国とその都市



(表-1)各地点での深度別均等係数

地点名	0cm	30cm	60cm	90cm	地点名	0cm	30cm	60cm	90cm
T1	3.74	2.91	3.74		T5.1				
T2	70.06	35.85	4.91		T5.2	2.08		4.24	11.10
T3	3.23	2.85	4.91		T6	2.04		2.73	3.10
T4	3.23		1.95	3.16	T7	2.97	2.79	2.91	

4.3. 土壌酸度と硬度：グラフ-2は土壌酸度と深度の関係を表している。全ての観測点において、深い層であるほど、酸度が高い。かつ、深度の大きい部分で灰色の層を観ることができた。

硬度は深度の大きい地点であるほど高い傾向がある。ただしT2地点のように、先の粒度分析で粒度の大きい地点は深度の小さくても非常に高い硬度を記録した。

5. 考察

今回の調査では、特にどこの観測点でもそれぞれの測定に大きな差はみられなかった。それは植生においても同様のことがいえる。今後、これらのデータをリモートセンシングのデータと比較する予定である。

また、今回の調査で注目したい点はポトゾルの存在である。表面から30～60cmの地点でPhの低い酸性の土壌になること、緯度が高く寒冷帯に近いこと、深度の大きい部分での土壌含水量が大きいことにより、自然排水の良い土壌であることなどから、灰色の層はポトゾルであると推定される。^{2),3)}

～モンゴル草原の砂漠化について～

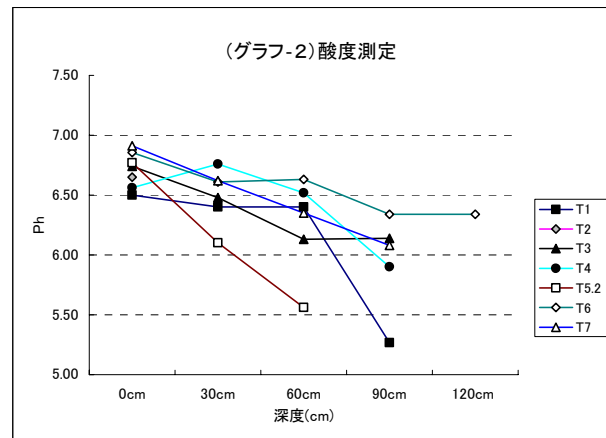
ポトゾル層が存在するということは、過去にモンゴル草原は針葉樹林帯が広がっていたことになる。アジアや北米の、中緯度偏西風地域の内陸砂漠は、氷期の寒冷期は現在よりも湿潤であったが、7,000～4,500年前の完新世中期の高温期に、著しく乾燥したとされている。⁴⁾よって、当時のモンゴル草原は、多くの植物が育つ環境であり、針葉樹林帯であったと推測できる。

しかし、ポトゾルの存在は、今後モンゴル草原の砂漠化を招く原因とならないだろうか。土壌を開拓することで、ポトゾル層が浮き出てしまう。このため、土壌が酸性になり、非常に植物の育ちにくい環境になるだろう。遊牧が行われている他地域も同様だが、モンゴルは今、定住化が進んでいる。これにより、国民に必要な食物はほとんど自給している。しかし、モンゴルの土壌が農業や開拓向きでない以上、無理な開拓は避けるべきであり、植生の乱れは、本来の遊牧生活にも害を及ぼしかねない。

モンゴルの土壌とは非常に敏感なものであるということを認識し、現状をどれだけ維持することができるかということが、モンゴルの砂漠化を防ぐ最良の方法であると考ええる。

—参考文献—

- 1) Msataka TAKAGI : Infrastructure Systems Engineering Kochi University of Technology
“SOIL MEASUREMENT IN MONGOLIA”(1998)
- 2) E. M. ブリッジズ 著、永塚鎮男、漆原和子 共訳：世界の土壌、古今書院、p.70(1990)
- 3) 那須淑子、佐久間俊雄 著：地球環境サイエンスシリーズ⑤ 土と環境、三共出版、p.22(1997)
- 4) 門村 浩、武内和彦、大森博雄、田村俊和 著：環境変動と地球砂漠化、朝倉書店、p16(1991)



(A.2) 衛星画像による草原での土壌観測の可能性

高知工科大学 吉野敦雄

高知工科大学 門田貴江

高知工科大学 高木方隆

1. はじめに

リモートセンシングによる土壌の観測は、マイクロ波や短波長赤外を利用した光学センサを用いて行われている。マイクロ波は、通常土壌水分の計測に用いられており、短波長赤外は地質調査などに用いられている。しかし、土粒子の粒度、地表面の土壌水分量など、土壌の状態が分光反射特性にどのような影響を及ぼしているのか、解明されていない部分が多い。特に衛星画像においては、土地被覆の状態、大気の状態が一定でないため、解析は困難である。

したがって、現地の土壌の状態を観測し、衛星画像と比較することは極めて重要である。そこで我々は、千葉大学においてモンゴルで進められている植生リモートセンシングに関するプロジェクトに参加し、土壌観測を行った。モンゴルは、土地被覆の状態がほぼ均一であり、高晴天率という条件から、リモートセンシングによる地表面の被覆状態を観測するのに適しているためである。

2. 目的

最終的には、リモートセンシングによる土壌観測を目指す。まず衛星画像に影響を及ぼす土壌水分、地形、太陽高度、土粒子粒度等を考慮する必要がある。今回は、これらの項目について現地の状態を把握し、衛星画像と比較する。したがって、観測データから、土壌水分、地形の影響を考慮し、衛星画像から土壌観測が可能かどうか検討を行う。

観測サイトは、モンゴル国マンダルゴビ内に約 2km×2km 区画を対象地域として設けた。

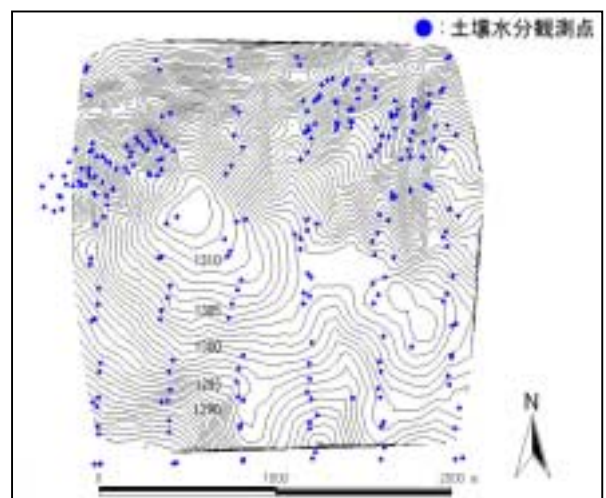
3. 現地観測結果

3.1 地形観測

地形観測では、GPS を用いたキネマティック測量（干渉測位）を行い、5487 点の測点を取得した。これらのデータより、地形モデル(DEM)を作成した。なお地形モデルの形式は TIN とした¹⁾(図 - 1 : TIN より作成したコンター)。

3.2 土壌水分観測

土壌水分観測は、Eijkelkamp 製の FDR 土壌水分計を使用した。この器機は、地中に差し込む 4 本のプローブから、100MHz の高周波の電磁波を発し、土壌水分の電気抵抗と反射波形を分析する事で、 1m^3 あたりの体積含水率を計測することができる。今回の観測では、地表面より 3~5cm の深さを対象地域の任意の地点で行った。なお、地形測量により求めた傾斜角度、傾斜方位との比較を行うため、地形変化の認められる丘と谷を細かく観測した(図 - 1 : 土壌水分観測点)。



(図 - 1) GPS による地形測量の結果 (コンター)

及び土壌水分観測点

3.3 土壌水分吸引力観測

土壌水分吸引力観測は大起理化工業社製の自記式テンシオメータ（電流出力式）を利用した。この器機は地中に埋めた陶器製の管から微量の水が土中に吸収され、土壌の吸引力が測定できる。

今回の観測では、傾斜の中腹を観測点とし、経時変化を追跡した。地表面、深さ 30cm、深さ 60cm にテンシオメータを設置し観測した。観測期間は 2000 年 8 月 7 日から 18 日までの 11 日間とした。

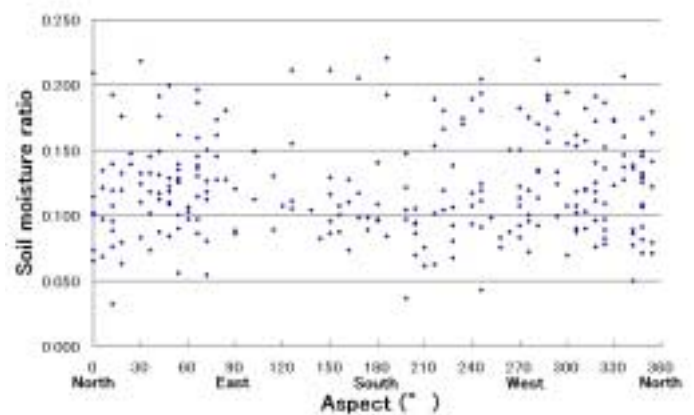
3.4 粒度観測

粒度観測は 0.075mm～80mm までのふるいを用いた。供試土は、土壌水分量を観測した丘と谷、その中腹からの 6 箇所と、その他の地表面を任意に 3 箇所選び採取した。

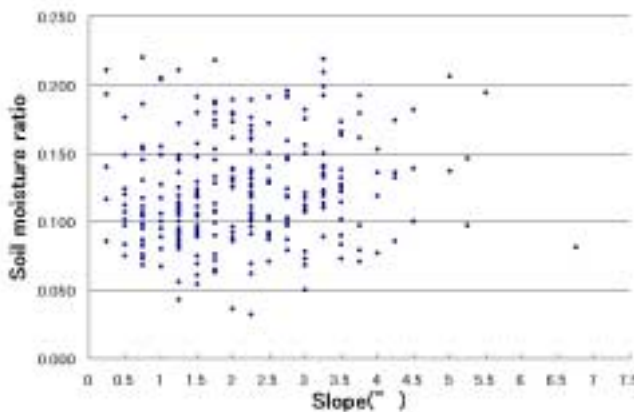
また、全ての観測点において、地表面をデジタルカメラで撮影した。今後、画像解析により、大雑把な粒度を推定できると考えている。

3.5 土壌水分観測と地形との関係

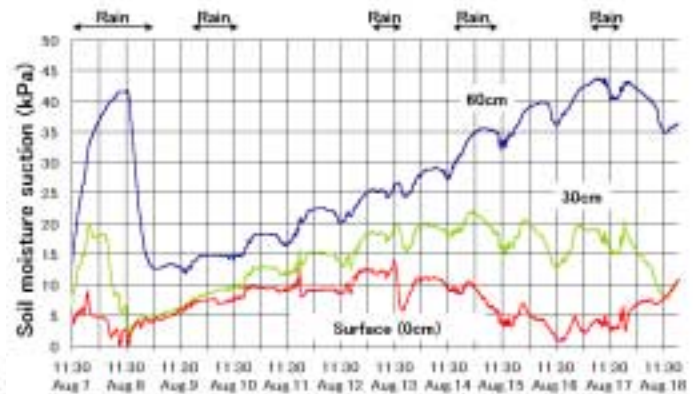
DEM から求めた傾斜方位及び傾斜角度と土壌水分を比較した結果、明確な特徴を見出せなかった（図 - 2, 3）。この事は降雨直後の観測においても同様であった。よって、対象地域は凹凸があるものの、緩やかな傾斜面で形成されているため、土壌水分は傾斜角度や傾斜方位といった地形要素に依存しないと考えられる。11 日間の土壌水分吸引力の経時変化を見ると（図 - 4）、殆どの日で正午が最も値が低い。土壌水分がその時間帯に地表面に上昇する様子を伺うことができた²⁾。よって、土壌水分は地形よりむしろ太陽高度に影響されると考えられる。



（図 - 2）土壌水分比と傾斜方位との関係



（図 - 3）土壌水分比と傾斜角度との関係



（図 - 4）土壌水分吸引力の経時変化

4. 衛星画像と現地観測結果との比較

土壌水分観測結果より、地形が異なっても対象地域では、同一時刻であれば土壌水分が一定であるとみなすことができた。したがって、土壌の粒度やその構成物質が、衛星画像に及ぼす影響を把握するため、衛星画像から地形の影響を除去し、観測データと比較する。

4.1 シェーディング画像の作成

DEMは、Landsat 7 と同様の30メートルの地上分解能で、グリッド型に変換した。その画像から、ランベルトの余弦則を用いてシェーディング画像を作成した³⁾。厳密には、表面の反射率や大気の光学的厚さについてのパラメータが必要であるが、ここでは後に統計的な処理を施すため、それらを見捨てて計算し、光源の方向ベクトルと地表に対する法線ベクトルの余弦の値を直接利用した(図-5)。

4.2 衛星画像の精密幾何補正

現地では地上基準点の取得が困難である。したがって、システム補正済みの画像を利用した。さらに衛星画像を精密幾何補正するため、シェーディング画像との相関を求めた。衛星画像を縦横にシフトさせ、シェーディング画像との相関が最も高い位置を求めた。なお、その際にはシェーディング画像と相関の高い Band 7 (図-6)を用いた。

4.3 地形の影響を除去した画像の作成

シェーディングによって求められた地形データを利用し、衛星画像から地形の影響を除去するために、この二つのデータの相関関係を把握する。(図-7)はシェーディングと Band 7 の散布図である。回帰分析により、回帰直線の傾きと切片を求めた。

$$X = A \times S + B \quad (1)$$

X: Landsat 7-ETM Band 7 の予測値

A: 2.6038

B: -136.9935

S: シェーディングの値

相関係数: 0.7358

衛星画像の各画素に変換係数を乗ずる事でシェーディングと衛星画像の相関は無くす事ができる。変換係数 C_{ij} は衛星画像の最大予測値 X_{max} と各シェーディングの値に対応する衛星画像の予測値の比で表す事ができる。

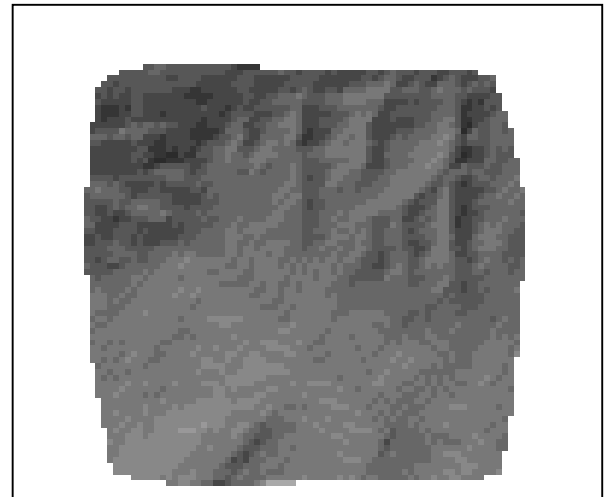
$$Y_{ij} = C_{ij} \times X_{ij} \quad (2)$$

$$C_{ij} = X_{max} / (Gain \times S_{ij} + Offset) \quad (3)$$

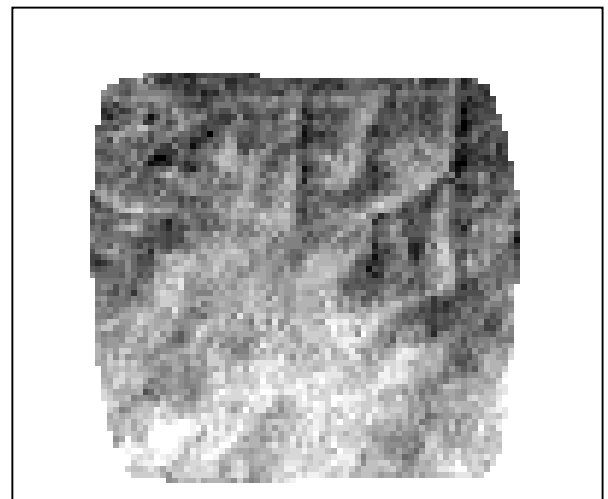
Y_{ij} : i 列 j 行の変換後の値

C_{ij} : i 列 j 行の変換係数

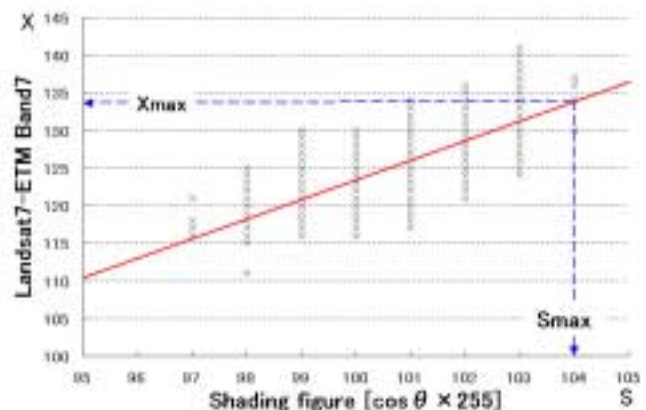
X_{ij} : i 列 j 行の衛星画像の値



(図-5) 対象地域のシェーディング画像



(図-6) Landsat 7-ETM Band 7 の画像



(図-7) 衛星画像とシェーディングの比較

S_{max} : シェーディング画像の Max 値

X_{max} : S_{max} 値の衛星画像の最大予測値

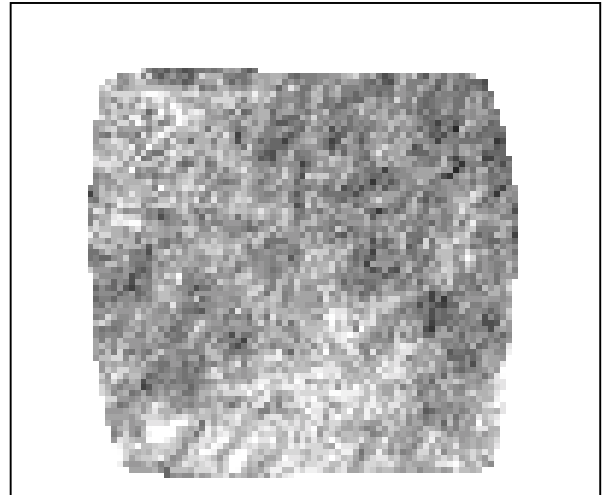
S_{ij} : i 列 j 行のシェーディングの値

式(2)に従い、地形の影響を除去した衛星画像を作成した(図-8)。

4.4 地形の影響を除去した衛星画像と現地の状況

作成された地形の影響を除去した画像(図-8)は、南及び北西は明るく、大きく反射していた。それ以外の部分は、暗い状況であった。また、地形の影響が大きかった範囲においても画像の明暗が分かれたため、この画像は、土壌の影響を反映していると期待できる。

粒度分析結果とデジタルカメラで撮影した地表面の画像と比較したが、現在までに大きな特徴は掴みきれていない。



(図-8) 地形の影響を除去した Band7 画像

5. 考察

現地観測結果より、傾斜 $0\sim6^{\circ}$ の対象地域では地形と土壌水分の関係は少ない事が確認された。よって対象地域では、地形における土壌水分の影響は無視できると判断された。したがって、地形の影響を除去し、土壌観測に適した衛星画像を簡単に作成することができた。しかし、作成された画像模様が、何らかのノイズによるものか、土壌自体に有意な差があるのか確認できなかった。

今後は、土壌自身の分光反射データを取得し、植生などのノイズの影響を除去していく必要がある。さらにデジタルカメラによる観測データからも画像と現地の状態との比較に利用していく必要がある。

6. 謝辞

本研究は、千葉大学環境リモートセンシング研究センターの本多嘉明先生、梶原康司先生より、モンゴル観測への参加や、衛星データの御提供など多大なご協力を戴きました。ここに記して感謝の意を表します。

- 引用文献 -

- 1) 門田貴江, 吉野敦雄, 高木方隆: 地形測量における測点数と精度の関係, 平成12年度日本写真測量学会秋期学術講演会発表論文集, pp.247~250 (2000)
- 2) 吉野敦雄, 高木方隆, 村上雅博: 植生リモートセンシングにおけるモンゴル草原の土壌観測, 第10回日本沙漠学会講演要旨集, pp.45~46 (1999)
- 3) 動体計測学会: イメージセンシング, 社団法人日本測量協会, pp.83 (1997)

(A.3) The Possibility of Soil Monitoring using Satellite Remote Sensing in the Mongolian Grasslands

Atsuo YOSHINO, Masataka TAKAGI
Kochi University of Technology JAPAN
Tel: (81)-887-52-2409 Fax: (81)-887-52-2420
E-mail: 055165f@gs.kochi-tech.ac.jp

KEY WORDS: Soil condition, Ground truth, Topography, Shading image

ABSTRACT

Nowadays, an observation of soil condition by remote sensing on bare soil areas is a continuing project. However the observation methods have not made the clear explanation of the reflectance spectrum by soil conditions. So it is important to understand the relationship between remote sensing data and ground truth data. Soil condition includes many factors such as soil moisture, topography, soil acidity and soil grading. In this study, a ground truth reforestation study of soil conditions was carried out in Mandal-GOBI, Mongolia in August of 2000. Observed items were topography, soil moisture content, soil moisture suction and soil grading. The researchers carried out the ground truth verification. Soil moisture was unchanged according to the topography in test area. Therefore, the influence of soil moisture was disregarded in the test area for satellite imaging analysis. Consequently topographic influences could be easily derived from the original satellite image. The resulting corrected image will be helpful for using soil observation; however, the meanings of its brightness pattern need future study. And the researchers will obtain soil spectral reflectance information in the test area and compare it with the derived image which had the topographic influence removed.

1. INTRODUCTION

Soil observation using remote sensing usually uses a microwave sensor and optical sensor with a narrow short wave infrared range. Microwave is used for measurement of soil moisture content, and short wave infrared is used for classification of geology. However these observation methods have not clearly explained the reflectance spectrum corresponding to soil different conditions: soil moisture, topography, soil acidity and soil grades. Moreover land cover and atmospheric conditions make difficult analysis. Due to these errors of omission, it is important to study the relationship between satellite imaging and soil conditions. It is necessary to carry out ground truth verification of soil conditions in uniform landcover areas.

2. OBJECTIVES

This study aim is establishing observation method of soil conditions using satellite remote sensing. It is important to compare satellite image with ground truth data. As ground truth on soil conditions, topography, soil moisture content and soil grading must be observed. Test area was selected in Mandal-GOBI Mongolia because of clear atmosphere and uniform landcover. The test area size was 2 km x 2 km. After that, the results of ground truth are concluded. Finally, soil conditions will be compared with Landsat7-ETM image.

3. OBSERVATIONS RESULTS

3.1 Topography

Topography was surveyed by the kinematics method using 1cycle GPS. Numbers of observed points were 5487. DEM was generated as TIN (Triangulated Irregular Network) using all surveying points⁽⁴⁾ (T Kadota, 2000). Figure1 shows derived contour line from the DEM.

3.2 Soil moisture contents

Soil moisture contents were measured by FDR soil moisture meter. The instrument can measure a volume of soil moisture ratio per 1m³. Measurement points ranged from 3 cm to 5 cm in depth. These points were selected according to topographic feature. Figure 1 shows the measurement points of soil moisture. After that, the results were compared with slope aspect and inclination that was derived from DEM. Figure 2 shows relationship between inclination and soil moisture ratio. Figure 3 shows relationship between slope aspect and soil moisture ratio. Soil moisture had no tendency with inclination and slope aspect. So it seems that soil moisture contents might not dependence on element of topography in the test area.

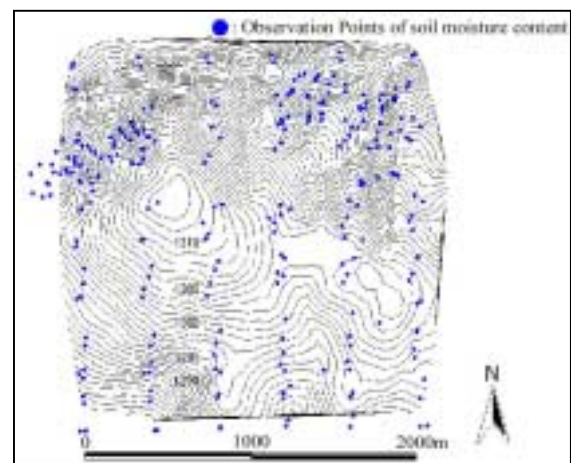


Figure 1. Observation points of soil moisture content on contour line which was derived from DEM

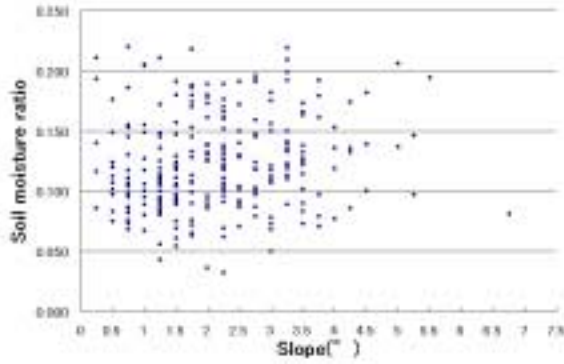


Figure 2. Relationship between inclination and soil moisture ratio

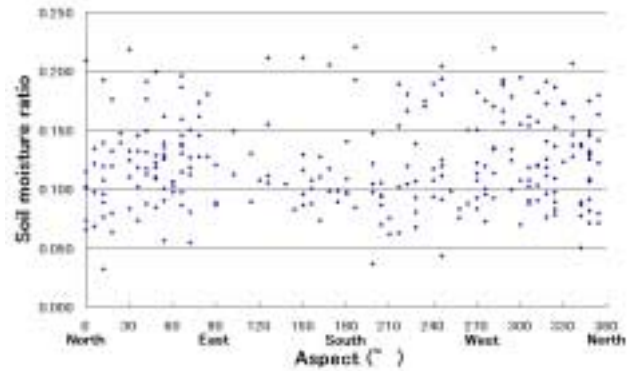


Figure 3. Relationship between slope aspect and soil moisture ratio

3.3 Soil moisture suction

Soil moisture suction relates a drying degree within soil. When the suction is indicating high value, the drying degree also shows high. This instrument was set up in surface, 30 cm and 60 cm in depth. Measurement period was two weeks from August 7 to August 18. Figure 4 shows soil moisture suction and the change in time series. In this figure, Soil moisture suction shows the highest value at noon in almost day ⁽¹⁾(A Yoshino, 1999). So it seems that soil moisture was influenced by sun elevation rather than topography.

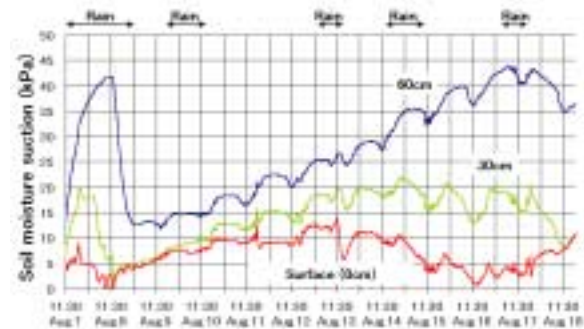


Figure 4. Soil moisture suction changing in time

4. RELATIONSHIP BETWEEN SATELLITE

IMAGES AND TOPOGRAPHIC RESULTS FEATURE

The results of soil moisture observation will be uniform at same time in the test area. It means that soil moisture has almost same status regardless with topographic feature in gentle slope. And the landcover also showed uniform, in the test area where is thin grassland. Therefore satellite image will be deeply influenced by topography because of shading. The hill shading will be related with spectral reflectance. In this chapter the shading image will be compared with the satellite image.

4.1 Hill shading

DEM was converted to grid type in 30m spatial resolutions same as Landsat7. Shading value in each grid was calculated using Lambert's equation with use of DEM. Strictly, this equation needs the parameters of reflection ratio on surface and optical atmospheric thickness. However these parameters did not use in this study. Because generated shading image will just compare with satellite image statistically. Cosine value between light source vector and normal vector of the surface was used for shading image generation. Figure 5 shows derived shading image. Sun elevation and azimuth were used same parameters as acquired period of Landsat7 image.

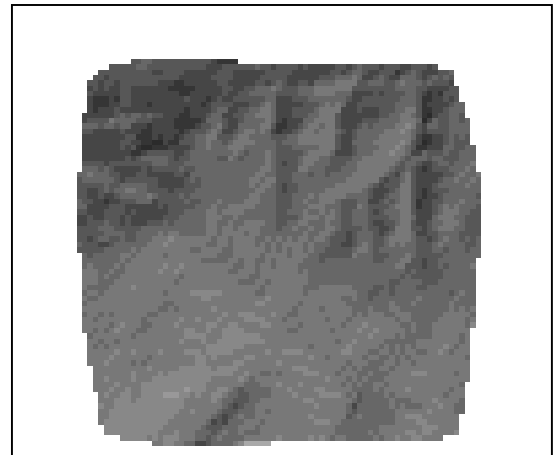


Figure 5. Shading image

Table 1. Correlation coefficients between shading value and ETM value in each band of Landsat7

Band Num.	Correlation Coef.
Band 1	0.40
Band 2	0.53
Band 3	0.65
Band 4	0.76
Band 5	0.78
Band 7	0.75

4.2 Geometric correction of satellite images

In this study, systematically corrected Landsat7 images were used. Because selecting the ground control points was difficulty in test area. This image can be corrected in high accuracy using correlation with shading data, when position where the correlation indicates the highest was found by shifting the satellite image. Table 1 shows the highest correlation between shading and each band. The results showed band 5 and 7 indicate high correlation. Figure 6 and 7 show the geo-corrected image.

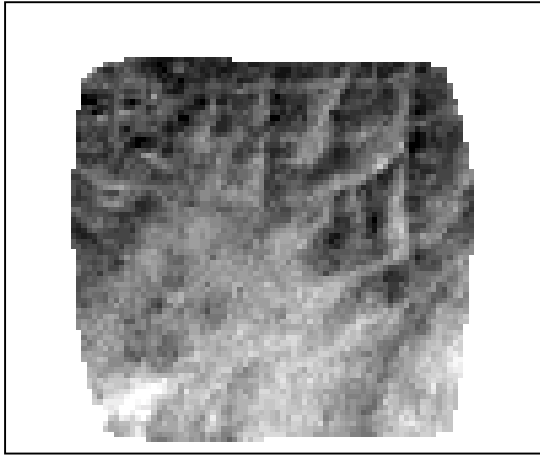


Figure 6. Geo-corrected Landsat7-ETM (Band 5)

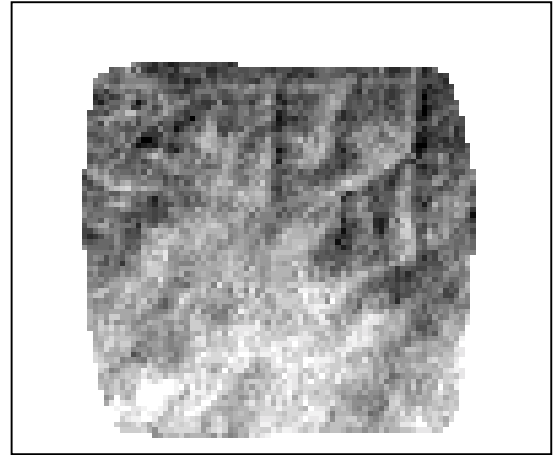


Figure 7. Geo-corrected Landsat7-ETM (Band 7)

4.3 Removing effects of topography

Satellite images are influenced by Topography. Figure 8 and 9 show relationship between the shading value and each band value. An equation of the fitting line was calculated by regression analysis. Correlation coefficients showed 0.78 (band5) and 0.75 (band7). Therefore, band value can be estimated by shading value using following equation.

$$X = A * S + B \text{ ----- (Equation 1)}$$

S: shading value

X: Estimation values of band 5 or band 7.

A: Gradient of regression line 3.48651(band 5), 2.815579 (band 7)

B: Interception of regression line -200.868 (band 5), -159.81 (band 7)

By using previous equation 1, topographic influence in Landsat7 images might be eliminated. Transform can be established by following the first order equation, which uses gradient and interception in previous regression analysis.

$$Y_{ij} = C_{ij} * X_{ij} \text{ ----- (Equation 2)}$$

$$C_{ij} = X_{max} / (A * S_{ij} + B) \text{ ----- (Equation 3)}$$

Y_{ij} : After transform value in each pixel

C_{ij} : Transform coefficient in each pixel

X_{max} : Maximum value estimated

X_{ij} : value of satellite image in each pixel

S_{max} : Maximum value of shading

S_{ij} : Shading value in each pixel

Figure10 and 11 show the image removed topographic influence by using previous transform Equation 2.

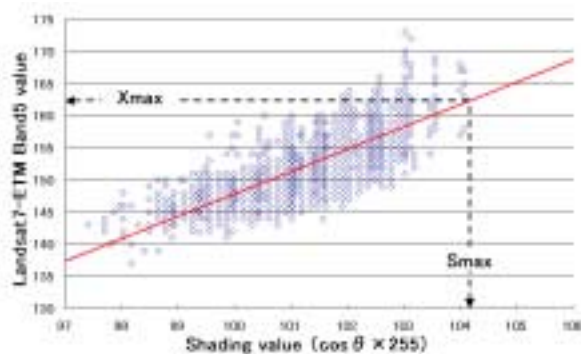


Figure 8. Relationship between shading value and Band 5 value

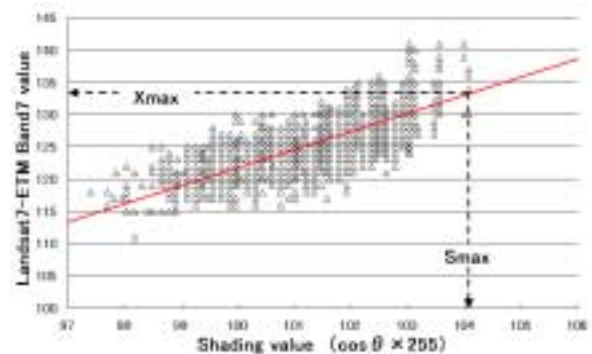


Figure 9. Relationship between shading value and Band 7 value

4.4 Relationship between the image removing topographic influence and soil condition

In figure 10 and 11, there were bright areas in southern part. These situations might be come from soil condition. Because, soil moisture was estimated a random value and topographic influence was removed. Unfortunately the reason could not find by ground truth. The spectral reflectance must be observed as further study.

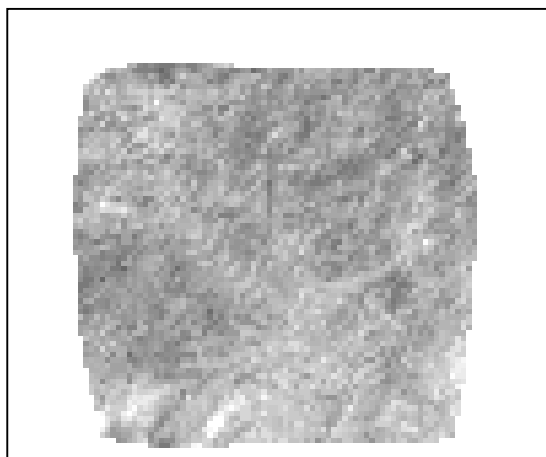


Figure 10. Removing topographic influence on band 5 image

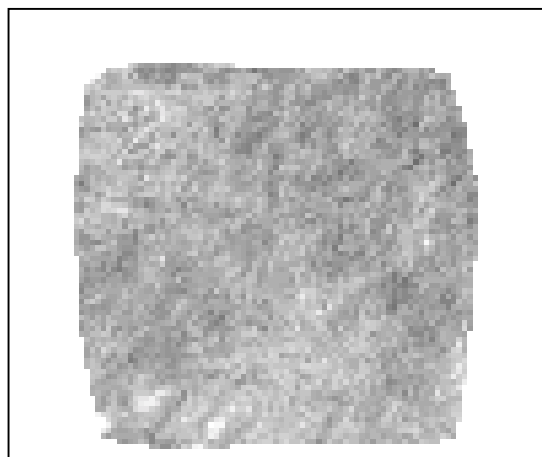


Figure 11. Removing topographic influence on band 7 image

5. CONCLUSIONS

Ground truth was succeeded to carry out. The soil moisture has no tendency according to topography in the test area. The influence of soil moisture can disregard in the test area for satellite image analysis. Therefore topographic influence could be easily removed from original satellite image. This image will be helpful for soil observation. However meaning of brightness pattern in the removed image was not understood. As future study, the soil spectral reflectance information in the test area will be acquired and it must compare with the derived image which was removed topographic influence.

6. ACKNOWLEDGMENTS

Chiba University has a project to monitor Mongolian grassland. We wish to thank Dr. Honda and Dr. Kajiware for their help to join the project.

REFERENCES

1. Atsuo YOSHINO, Masataka TAKAGI and Masahiro MURAKAMI: "Soil Monitoring at the Remote Sensing in Mongolian Grassland" Lecture papers of the Japan association for arid land studies pp.45 ~ 46 (1999), in Japanese
2. Atsuo YOSHINO, Takae KADATA, and Masataka TAKAGI: "The Possibility of Soil Monitoring using Satellite Remote Sensing in Mongolian Grassland" Lecture papers of Japan Society of Photogrametry and Remote Sensing pp.85 ~ 88 (2001), in Japanese
3. ARIDA, "Image Sensing" Japanese association of surveyors pp.83 (1997), in Japanese
4. Takae KADATA, Atsuo YOSHINO and Masataka TAKAGI : "Relationship between Number of Survey Point and Accuracy for Topographic Survey" Lecture papers of Japan Society of Photogrametry and Remote Sensing pp.247 ~ 250 (2000), in Japanese

(A.4) THE INFLUENCE OF SOIL CONDITION TO SATELLITE IMAGE IN MONGOLIAN GRASSLAND

Atsuo YOSHINO*, Masataka TAKAGI*

Koji KAJIWARA**, Yoshiaki HONDA**

*Department of Infrastructure Systems Engineering

Kochi University of Technology

Tel: (81)-887-52-2409 Fax: (81)-887-52-2420

E-mail: 055165f@gs.kochi-tech.ac.jp

**Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University

JAPAN

KEY WORDS: Soil grading, Topography, Ground truth

ABSTRACT:

Nowadays, observation of soil condition using remote sensing on bare soil area is still in progress. Topographic feature, soil grading, soil moisture, base rock and vegetation might be influenced satellite image. Ground truth on the soil condition which is topography, soil moisture and soil grading had been carried out in Mandal-GOBI, Mongolia on every August from 1999 to 2002. The test area had clear atmosphere and uniform land cover. Moreover base rock might be assumed homogeneity. In this study, Landsat 7 -ETM was used because of including the short wave infrared band which can detect soil condition. Ground truth showed the soil moisture disregarded in the Landsat 7 -ETM image because of very dry condition. Therefore topographic influence could be easily removed from Landsat 7 image by shading of digital elevation model. The removing topographic influence image called corrected image in this study. In observing area, vegetation condition was very thin which average of NDVI using the corrected image was -0.031 . And Band 7 of the corrected image was efficient to detect soil grading in such thin vegetative area. Value of corrected image had tendency to drop with big soil grading.

1. INTRODUCTION

Soil observation using remote sensing usually uses a microwave sensor and optical sensor with a narrow short wave infrared range. However these observation methods have not clearly explained the reflectance spectrum corresponding to soil conditions: topography, soil moisture, soil grading, base rock and soon. Moreover land cover and atmospheric conditions make difficult analysis. Therefore it is important to study the relationship between satellite image and soil conditions. Ground truth to get verification data set about soil conditions in uniform landcover areas is requested.

2. OBJECTIVES

This study aim is evaluating the influence of the soil condition in satellite image. It is important to compare satellite image with ground truth data. As ground truth on soil condition, topography, soil moisture and soil grading, were observed. Test area was selected in Mandal-GOBI Mongolia because of clear atmosphere and uniform landcover. The test area size was 2 km x 2 km. Base rock might be assumed homogeneity in test area. After that, the results of ground truth are concluded. Soil conditions will be compared with Landsat 7 -ETM image. When soil moisture can disregard, topographic influence is removed from satellite image using hill shading image⁽¹⁾ (A YOSHINO, 2001). The image of removing topographic influence will be generally influenced vegetation and soil condition. If Influence of vegetation can disregard from the image using NDVI, the image will be compared with soil grading.

3. OBSERVATION ITEMS

3.1 Topography

Topography was surveyed by the kinematics method using 1cycle GPS. Numbers of observed points were 5,487. DEM was generated as TIN (Triangulated Irregular Network) using all surveying points⁽⁵⁾ (T KADOTA, 2000). Figure 1 shows derived contour map from the DEM.

3.2 Soil Moisture

Soil moisture contents were measured by FDR soil moisture meter. Figure 1 shows measurement points of soil moisture content on the contour map. The soil moisture meter can measure a volume of soil moisture ratio per $1m^3$. Measurement points ranged from 3 cm to 5 cm in depth.

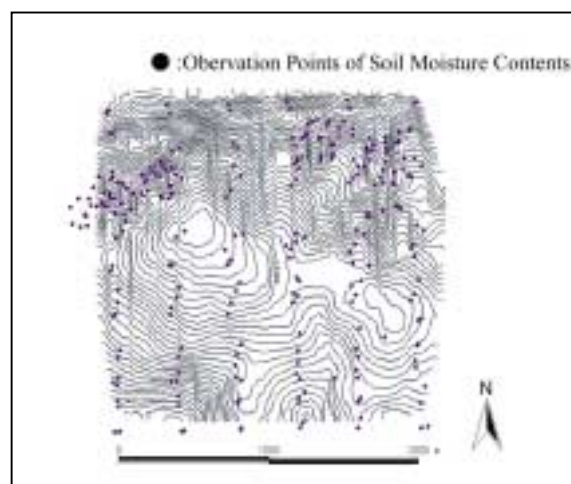


Figure 1. Observation Points of Soil Moisture Content on Contour Map

3.3 Soil Grading

Soil grading was measured by CCD camera. The camera mounted on observation car (Figure 2). The CCD camera can take surface images from 2 m height. Figure 3 shows measurement points of soil grading on contour map. Number of measurement was 355. Soil grading was classified into five categories by visual interpretation from the images. Figure 4, 5 shows example image of class1 to 5.



Figure 2. Observation Car

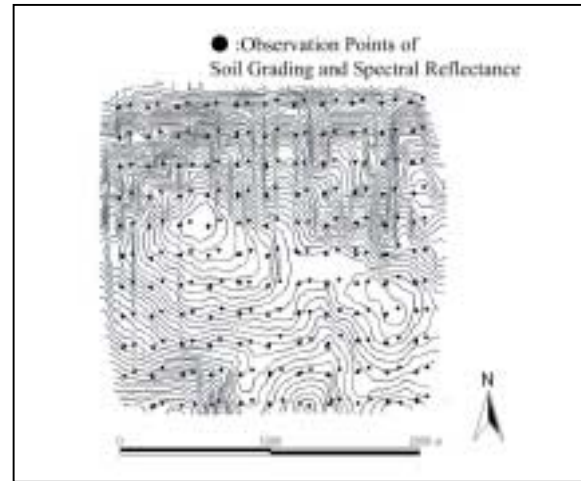


Figure 3. Observation Points of Soil Grading on Contour Map

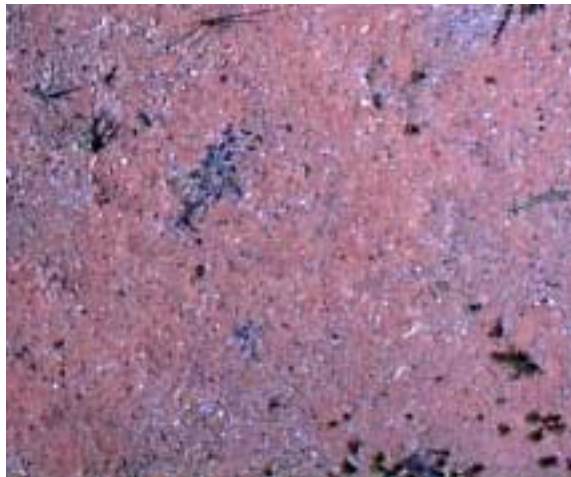


Figure 4. Instance of Soil Grading Category 1



Figure 5. Instance of Soil Grading Category 5

3.4 Used Satellite Images

In this study, Landsat 7 -ETM was used. Because Landsat 7 has short wave infrared band which can detect soil condition. Product creation time of this satellite image was October 28 1999. The image was carried out geometric correction with topographic map which generated by this ground truth.

4. RELATIONSHIP BETWEEN SATELLITE IMAGES AND TOPOGRAPHIC RESULTS FEATURE

4.1 Relationship between Soil Moisture Contents and Topography

The results of soil moisture contents were compared with slope aspect and inclination that was derived from DEM. Figure 6 shows relationship between inclination and soil moisture ratio. Figure 7 shows relationship between slope aspect and soil moisture ratio. Soil moisture had no tendency with inclination and slope aspect. So it seems that soil moisture contents might not dependence on element of topography in the test area ⁽³⁾(A YOSHINO, 2001).

4.2 Relationship between Hill Shading and Satellite Images

The result of soil moisture observation was uniform and very small quantity in the test area. It means that soil moisture has almost same status regardless with topography. Therefore satellite image will be deeply influenced by topography because of

shading. The hill shading will be related with spectral reflectance. In this chapter the shading image will be compared with the satellite image.

DEM was converted to grid type in 30 m spatial resolutions same as Landsat 7 (Figure 9). Shading value in each grid was calculated using Lambert's equation with use of DEM. Strictly, this equation needs the parameters of reflection ratio on surface and optical atmospheric thickness. However these parameters did not use in this study. Because generated shading image will just compare with satellite image statistically. Cosine value between light source vector and normal vector of the surface was used for shading image generation. Figure 8 shows derived shading image. Sun elevation and azimuth were used same parameters as acquired period of Landsat7 image. Table 1 shows correlation coefficients between shading on each band. The results showed band 4, 5 and 7 have higher correlation ⁽¹⁾ (A YOSHINO, 2001).

Table 1. Correlation Coefficients Between Shading Value and D.N. of ETM in Each Band of Landsat 7

Band Num.	Correlation Coef.
Band 1	0.4
Band 2	0.53
Band 3	0.65
Band 4	0.76
Band 5	0.78
Band 7	0.75

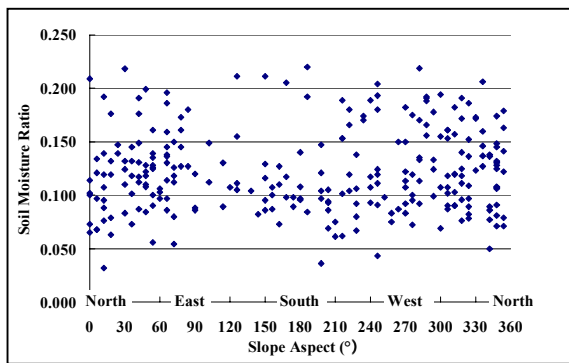


Figure 6. Relationship Between Slope Aspect and Soil Moisture Ratio

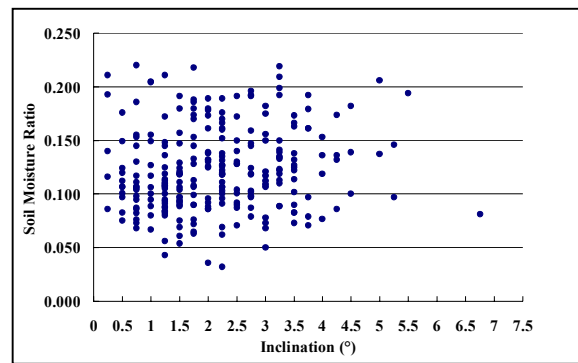


Figure 7. Relationship Between Inclination and Soil Moisture Ratio

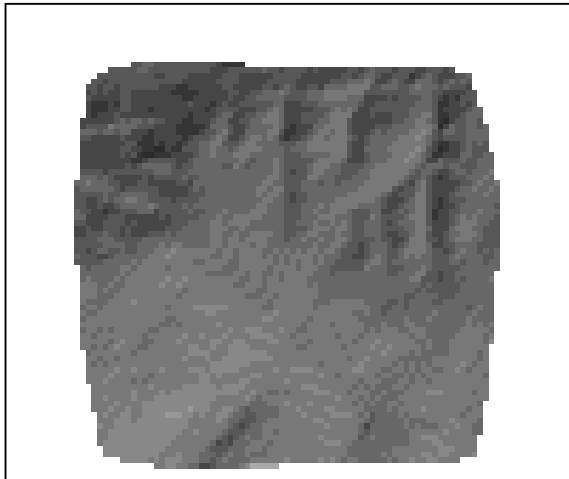


Figure 8. Shading Image

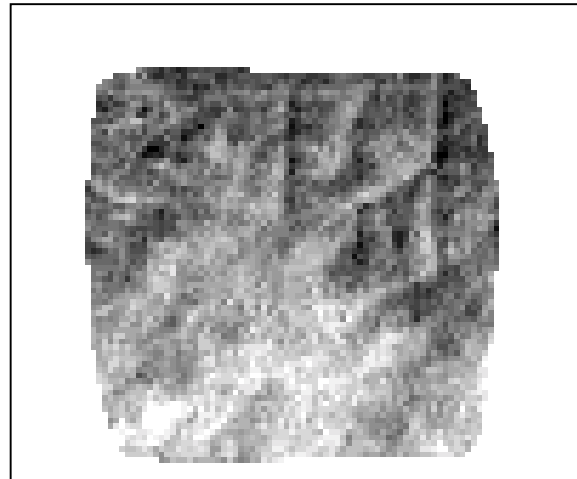


Figure 9. Geo-corrected Landsat7-ETM (Band 7)

4.3 Removing Effects of Topography

Satellite images are influenced by Topography. Figure 10 shows relationship between the shading value and D.N. of band 7. An equation of the fitting line was calculated by regression analysis. Correlation coefficients showed 0.75 (band 7). Therefore, D.N. of band 7 can be estimated by shading value using following equation.

$$X = A * S + B \text{ ----- (Equation 1)}$$

S: shading value

X: Estimated D.N. of band 7.

A: Gradient of regression line 2.815579 (band 7)

B: Interception of regression line -159.81 (band 7)

By using previous equation 1, topographic influence in Landsat 7 images might be eliminated. Transform can be established by following the first order equation, which uses gradient and interception in previous regression analysis.

$$Y_{ij} = C_{ij} * X_{ij} \text{ ----- (Equation 2)}$$

$$C_{ij} = X_{\max} / (A * S_{ij} + B) \text{ ----- (Equation 3)}$$

Y_{ij} : After transform value in each pixel

C_{ij} : Transform coefficient in each pixel

X_{\max} : Estimated maximum value

X_{ij} : D.N. of satellite image in each pixel

S_{\max} : Maximum value of shading

S_{ij} : Shading value in each pixel

Figure 11 show the image removed topographic influence by using previous transform Equation 2. This image called a corrected image in this study.

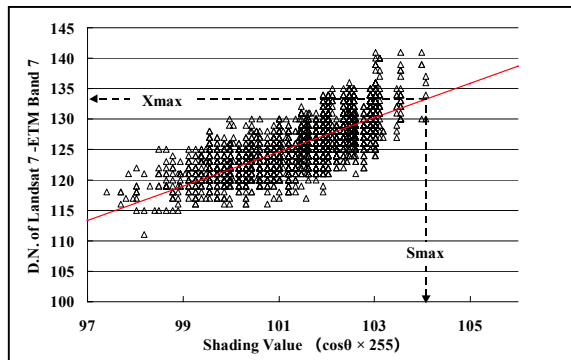


Figure 10. Relationship Between Shading Value and D.N. of Band 7

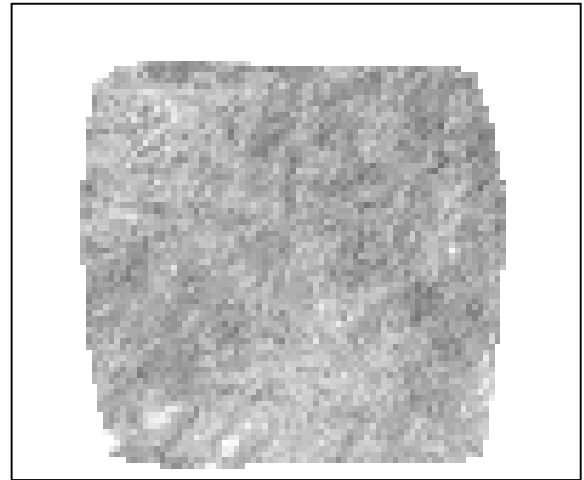


Figure 11. Removing Topographic Influence Image (Band 7)

5. RELATIONSHIP BETWEEN CORRECTED IMAGE AND SOIL CONDITION

Vegetation condition must be considered to detect soil condition from the corrected image. Therefore the corrected image compared with the vegetation and soil grading. Vegetation was estimated by NDVI using the corrected image. Average value of NDVI in corrected image was -0.031. It was very thin vegetation and almost homogeneous.

Figure 12, 13 and 14 show average value of the corrected image in each category of soil grading. Each line on the figure means tabulation result according to NDVI value. In case of low NDVI points, soil condition should be deeply influenced to the corrected image. From these figures, the value of band 7 corrected image had tendency to drop with big soil grading. The gravel might made low reflectance because of shadow by gravel-self. On the other hand, the fine sand might make high reflectance because of no shadow.

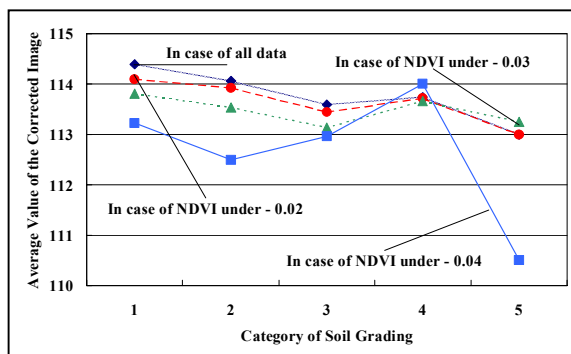


Figure 12. Average Value of the Corrected Image in Each Category of Soil Grading (Band 4)

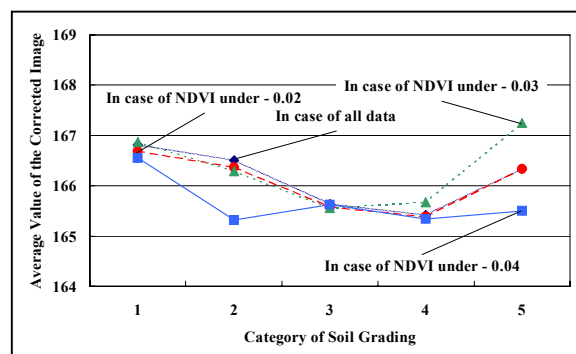


Figure 13. Average Value of the Corrected Image in Each Category of Soil Grading (Band 5)

6. CONCLUSION

Ground truth was succeeded to carry out. The soil moisture has no tendency according to topography in the test area. The influence of soil moisture can disregard in the test area for satellite image analysis. Therefore topographic influence could be easily removed from original satellite image.

In this test area, vegetation condition was very thin which average of NDVI was -0.031. And the corrected image of band 7 was efficient to detect soil grading in such thin vegetative area. Value of the corrected image had tendency to drop with big soil grading. The gravel might make low reflectance because of shadow and fine sands might make high reflectance.

As future study, satellite image of ASTER will be used. ASTER has six short wave infrared bands. It will be more efficient to detect soil condition.

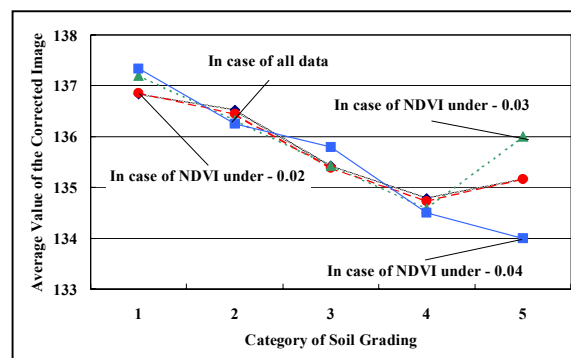


Figure 14. Average Value of the Corrected Image in Each Category of Soil Grading (Band 7)

REFERENCES

1. Atsuo Yoshino and Masataka Takagi: "The Possibility of Soil Monitoring using Satellite Remote Sensing in Mongolian Grassland" 22nd Asian Conference on Remote Sensing, Singapore, pp. 30-33, 2001
2. Atsuo YOSHINO, Masataka TAKAGI and Masahiro MURAKAMI: "Soil Monitoring at the Remote Sensing in Mongolian Grassland" Lecture papers of the Japan association for arid land studies pp.45-46 (1999), in Japanese
3. Atsuo YOSHINO, Takae KADOTA, and Masataka TAKAGI: "The Possibility of Soil Monitoring using Satellite Remote Sensing in Mongolian Grassland" Lecture papers of Japan Society of Photogrammetry and Remote Sensing pp.85-88 (2001), in Japanese
4. ARIDA, "Image Sensing" Japanese association of surveyors pp.83 (1997), in Japanese
5. Takae KADOTA, Atsuo YOSHINO and Masataka TAKAGI: "Relationship between Number of Survey Point and Accuracy for Topographic Survey" Lecture papers of Japan Society of Photogrammetry and Remote Sensing pp.247-250 (2000), in Japanese
6. Hirokazu YAMAMOTO, Asako KONDA, Toshiaki HASHIMOTO, Koji KAJIWARA and Yoshiaki HONDA: "A Study on Biomass Estimation in Mongolian Grassland Using NOAA AVHRR LAC Data and Ground Based Data" Journal of the Japan Society of Photogrammetry and Remote Sensing vol.40 no.6 pp.25-37 (2001), in Japanese.