

- tions : atmospheric brown clouds, *Atmos. Environ.*, **37**, 4033-4035.
- Russell, P. B., J. M. Livingston, P. Hignett, S. Kinne, J. Wong, A. Chien, R. Bergstrom, P. Durkee and P. V. Hobbs, 1999 : Aerosol-induced radiative flux changes off the United States mid-Atlantic coast : Comparison of values calculated from sun-photometer and in situ data with those measured by airborne pyranometer, *J. Geophys. Res.*, **104**, 2289-2307.
- Sekiguchi, M., T. Nakajima, K. Suzuki, K. Kawamoto, A. Higurashi, D. Rosenfeld, I. Sano and S. Mukai, 2003 : A study of the direct and indirect effects of aerosols using global satellite datasets of aerosol and cloud parameters. *J. Geophys. Res.*, in 108 (D22), 4699, doi : 10. 1029. 2002 JP 003359.
- Suzuki, K., T. Nakajima, A. Numaguti, T. Takemura, K. Kawamoto and A. Higurashi, 2003 : A study of the aerosol effect on a cloud field with simultaneous use of GCM modeling and satellite observation, *J. Atmos. Sci.*, **61**, 179-194.
- Takemura, T., T. Nakajima, O. Dubovik, B. N. Holben and S. Kinne, 2002 : Single scattering albedo and radiative forcing of various aerosol species with a global three-dimensional model, *J. Climate*, **15**, 333-352.
- Takemura, T., 2003 : SPRINTARS モデルによる放射強制力評価に関する私信.
- Uno, I., G. R. Carmichael, D. G. Streets, Y. Tang, J. J. Yienger, S. Satake, Z. Wang, J.-H. Woo, S. Guttikunda, M. Uematsu, K. Matsumoto, H. Tanimoto, K. Yoshioka and T. Iida, 2003 : Regional chemical weather forecasting system CFORS : Model descriptions and analysis of surface observations at Japanese Island, Stations During the ACE-Asia Experiment, *J. Geophys. Res.*, **08** (D23), 8668, doi : 10. 1029/2002JD002845.

501 (リモートセンシング)

### 3. 東アジアにおける地表面植生の変化

本 多 嘉 明\*・梶 原 康 司

#### 1. はじめに

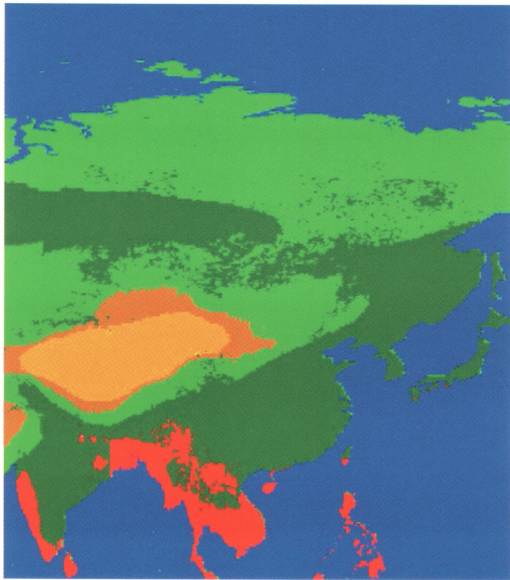
1991年以来、モンゴル国内において衛星を用いた植生調査を実施し、毎年のように起こる干ばつを経験した。現地聞き取り調査による結果も20年来草原の疲弊が進行しているとのことであった。第1図は、1930年頃の年平均値をもとに植生モデルによって作成した東アジア植生分布図である。第2図は、NOAA/AVHRR-GAC データに基づく1990年の東アジア植生分布図である。両者を比較するとタクラマカン砂漠周辺において草原が減少し、半砂漠、砂漠が拡大していることが分かる。また、第3図は、NOAA/AVHRR-

GAC データに基づく1998年のタクラマカン砂漠周辺の植生分布図である。1990年の状態に比べて砂漠化が進展している状況がよく分かる。しかしながら、NOAA/AVHRR-GAC データの解析による結果は数十年あるいは十年単位の長い間隔をあけてやっと分かる程度の粗いものである(松岡ほか, 1998)。そこで、本講演では、新しい衛星データを利用した、砂漠化の詳細なモニタリングのための手法開発に関する研究の現状を紹介する。

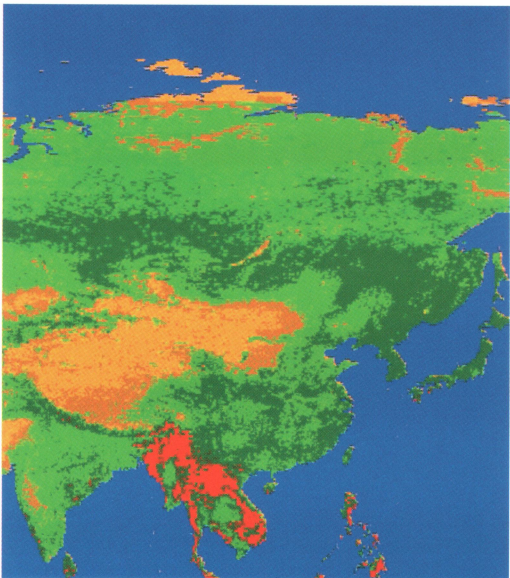
#### 2. 研究の流れ

草本主体の草原植生においては、植生被覆状態(植生被覆率など)を衛星データによって推定できる(近田ほか, 2002)。さらに、草原タイプごとに植生被覆率

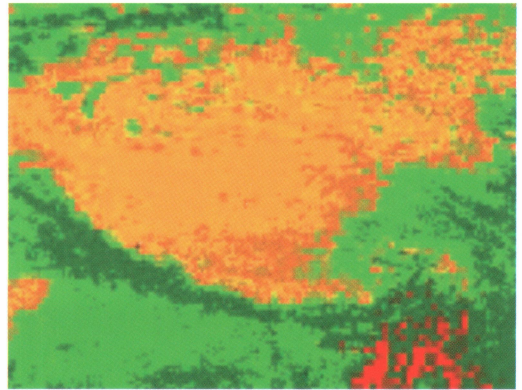
\* 千葉大学環境リモートセンシング研究センター。



第1図 植生モデルによって作成した1930年頃東アジア植生分布図。赤：熱帯林，緑：森林，黄緑：草原，橙：半砂漠，黄：砂漠。



第2図 NOAA/AVHRR-GAC データに基づく1990年の東アジア植生分布図。色コードは、第1図に同じ。



第3図 第2図に同じ。ただし、1998年のタクラマカン砂漠周辺の植生分布図。

(植生被覆率状態を表す1つの指標)とバイオマスが強い相関を持っている。そこで、衛星データからバイオマスの時系列データを作成し、ある時点とある時点のバイオマスの差分から、その期間の植物生産量を推定する。第4図に示すように、この基本的な考えに基づいて開発された植物生産量推定モデルに必要な観測パラメータを、衛星観測のみから得た場合と現地観測から得た場合の植物生産量の推定結果を求める。さらに刈り取り法によって植物生産量を実測して真値を得る。

この真値を用いて、現地観測から得られた正確な観測パラメータによる植物生産量の推定値を評価することにより、推定モデル自体の検証が行える。また、この真値と現地観測による植物生産量の推定値を用いて、衛星による植物生産量推定値を評価することにより、衛星データの高精度な利用の検証が行える。

これらを実現するためには、主に次の3点を明らかにする必要があり、主要な研究項目としてあげる。

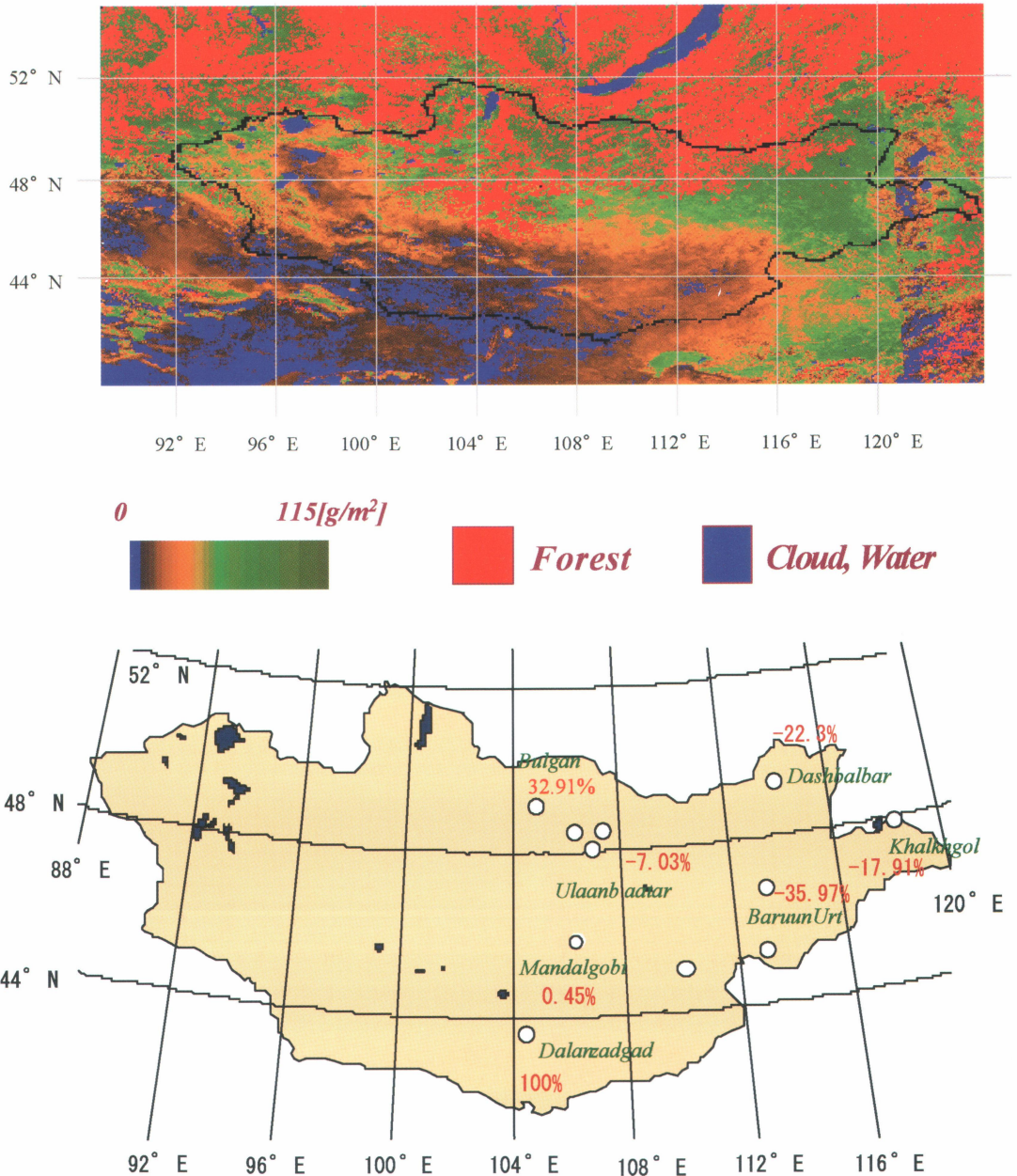
- (1) 実証的な検証情報の取得手法開発
- (2) 衛星観測によるバイオマスを推定するのに最も効率的な植生被覆状態指標の開発
- (3) バイオマスの時間差分から植物生産量を推定するモデルの開発

### 3. 実施内容

#### 3.1 実証的な検証情報の取得手法開発

##### 3.1.1 観測サイトの選択

- (a) 広大で均一な植生,
- (b) 平坦な地形,
- (c) 立体構造が単純な植生,



第10図 衛星データにより推定した広域のバイオマスマップ(上)と推定誤差(下)。ただし、森林域および湖水・雲域は除く。

(d) 専用利用, の条件を満たす東モンゴル草原の中で最適の地域を選定した。その配置を第5図に示す。

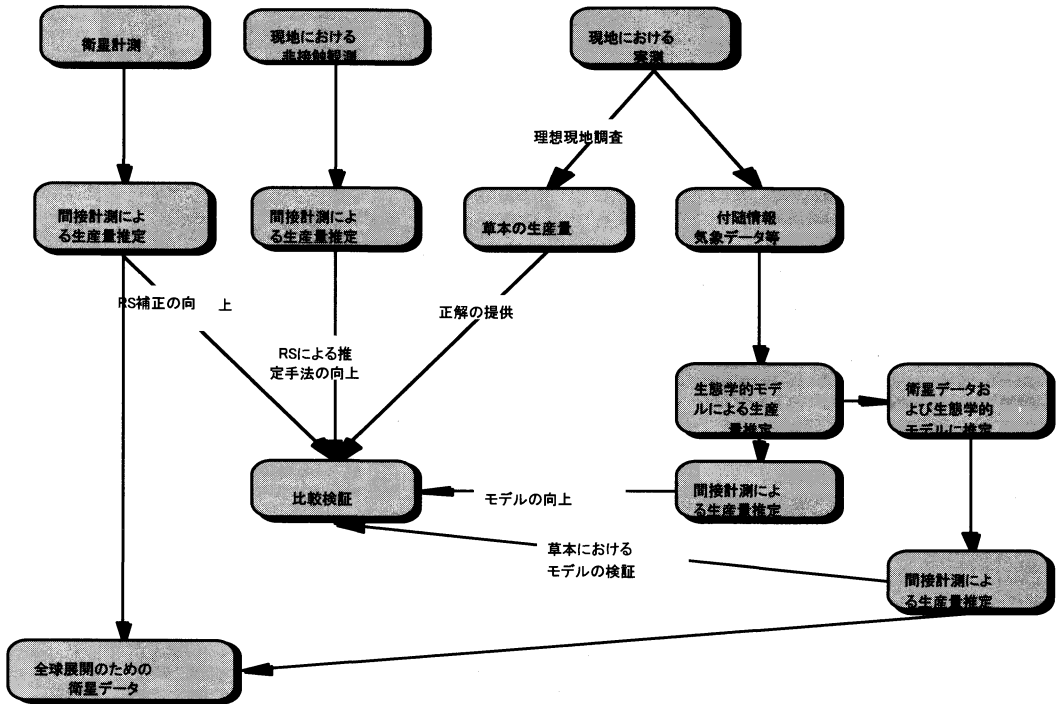
3.1.2 現地観測手法の確立

広域の現地観測を効率良く正確に行うために、観測機材を開発した。そのうち主なものを3つ紹介する。

・植生被覆状態の計測システムの開発

植物生産量の直接計測によって真値を得ることができるが、この方法はいわば破壊試験であり、観測対象を破壊することになる。これでは連続的に変化する植物生産量をまったく同じ対象について連続的に把握することができない。本研究では既に2次元的な情報で





第4図 研究の流れ図。

ある植生被覆率や分光データから間接的に地上部のバイオマスを推定する手法で成果をあげている（山本ほか, 1997）。このために、植生被覆率や分光データを現地において短時間で収集する移動多点観測システムを開発した（第6図）。

この装置により、2 km×2 kmのサイトの100地点における観測情報を太陽光の照明条件が著しく変化しない100分以内の時間で収集することができるようになった。さらに、2000年度の改良によりデジタルステレオ画像が同時に取得できるように改良した。これにより、草丈を広い範囲から取得できるようになった。

#### ・特定面積のバイオマスの直接計測システム

一般に草原で行われているバイオマスの刈り取り法は1 m<sup>2</sup>程度を対象として行われている。他方、本研究ではバイオマスの時間変化を計測する必要がある。そこで刈り取りをしなくてもバイオマスを計測できる多角測定3次元レーザースキャニング装置（第7図）を開発した。この計測装置は植物の3次元構造を計測することができる。また、実際に刈り取り調査を行い、精度の検証を行った。

#### ・無線誘導無人高速ヘリコプター観測システム

GPSによるオペレーション支援機能を搭載し、熟練

オペレータでなくとも操縦可能なホバリング機能およびプログラミング飛行機能を搭載した産業用ラジコンヘリコプターを観測プラットフォームとして採用し、地表面の最小代表面積、2方向性反射特性および植生キャノピー形状を観測できる装置を開発した（第8図）（本多ほか, 1997；本多, 2002）。この装置の開発によって本研究が目的としている草原植生はもとより、灌木が進入した地域、湿地帯、森林など車両移動多点観測システムでは観測が困難な対象でも観測可能になった。また、この観測機材一式で様々な観測が可能で、2000年に北米大陸の6箇所において観測を実施し、きわめて機動性が高い観測装置であることを再確認した。

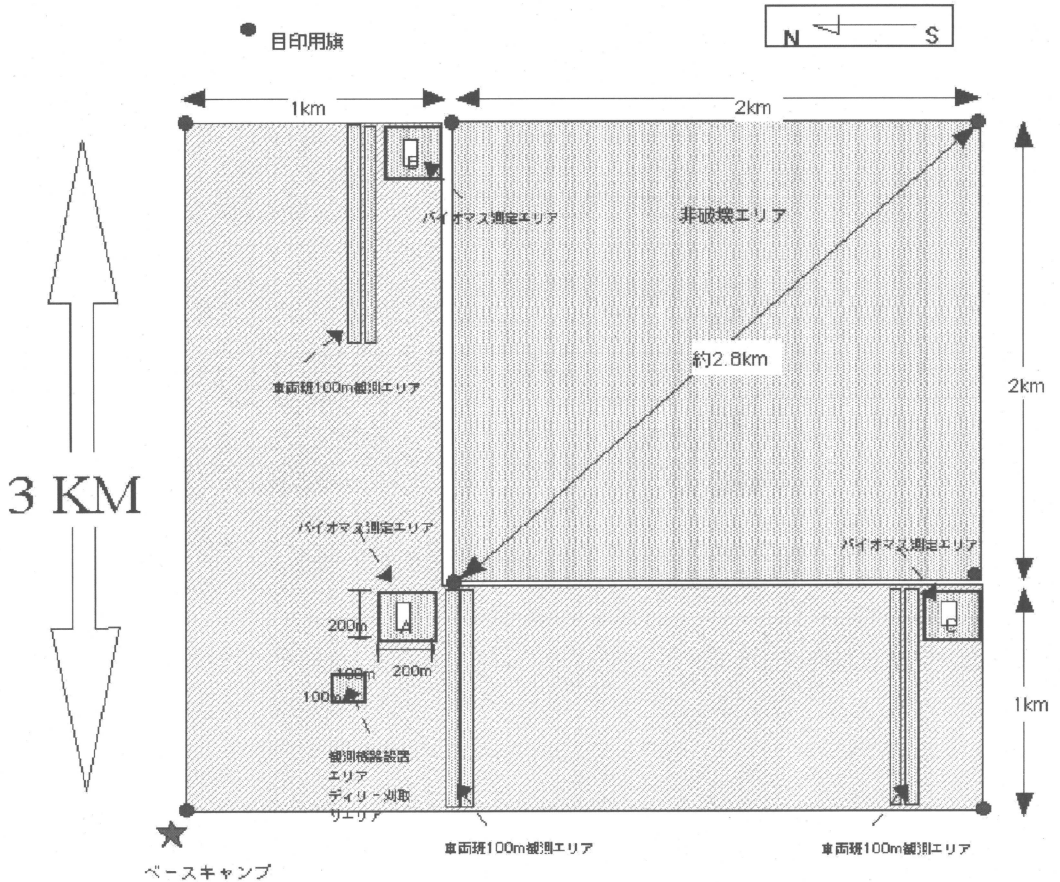
#### 3.2 植生被覆状態指標の開発

衛星観測によりバイオマスを推定するのに、植生被覆状態を表す最も効率的な指標を開発する。ここでは、植生の2方向反射特性を考慮し、植物の3次元構造の特徴を示す指数として2方向性反射構造特性指数（BSI：Bi-directional Distribution Factor Structure Index）を提案する。提案した指数は衛星データから得られるもので、次の式によって表すことができる；

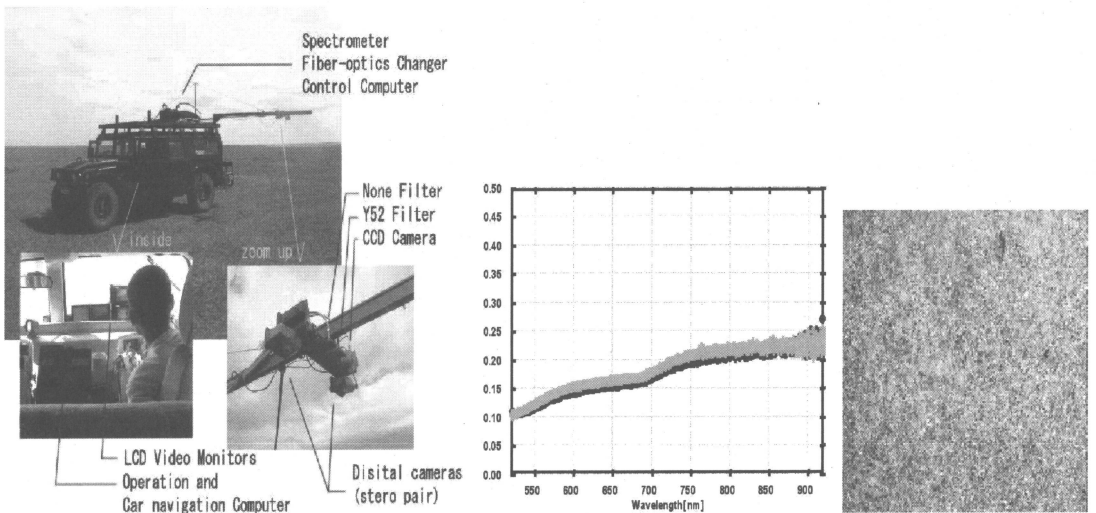
$$BSI = (IRB - RB) / (IRN - RN)$$



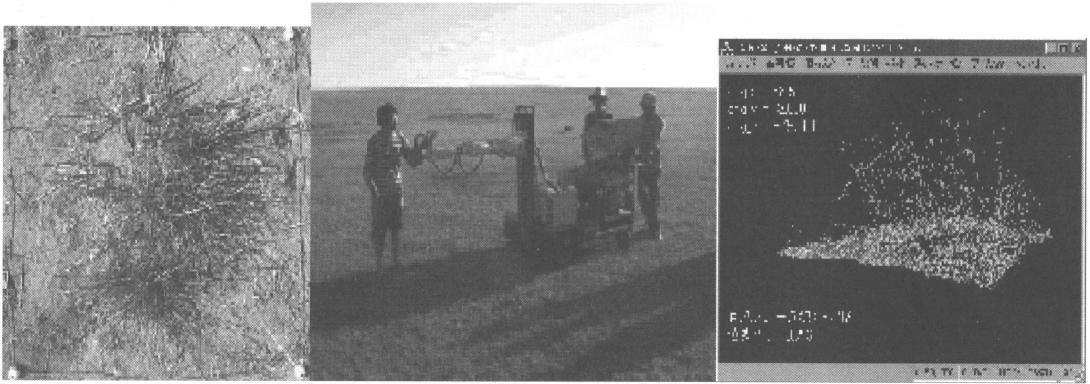
マンダゴビでの観測エリアの取り方 (全体配置)



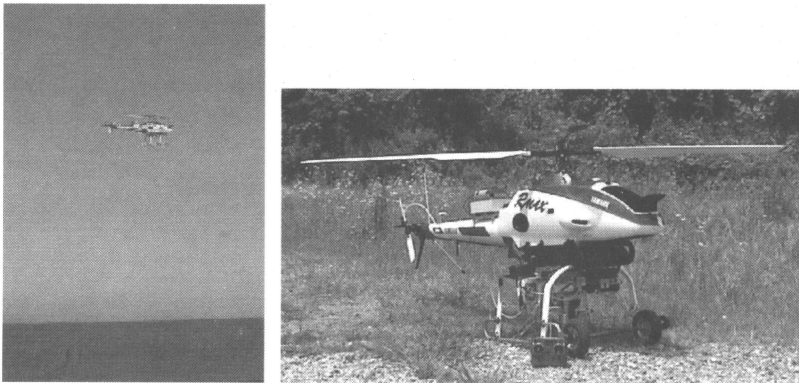
第5図 モンゴル・マンダゴビにおける観測サイトの平面配置図.



第6図 車両移動多点観測システム (左) と取得されたデータ (中央および右).



第7図 植生3次元モデルの検証観測の概観（左および中央）と取得されたデータ（右）。



第8図 無線誘導無人高速ヘリコプター観測システム。

ここに、

IRB：後方散乱方向の近赤外域反射、

RB：後方散乱方向の赤域反射、

IRN：鉛直方向の近赤外域反射、

RN：鉛直方向の赤域反射、

である。

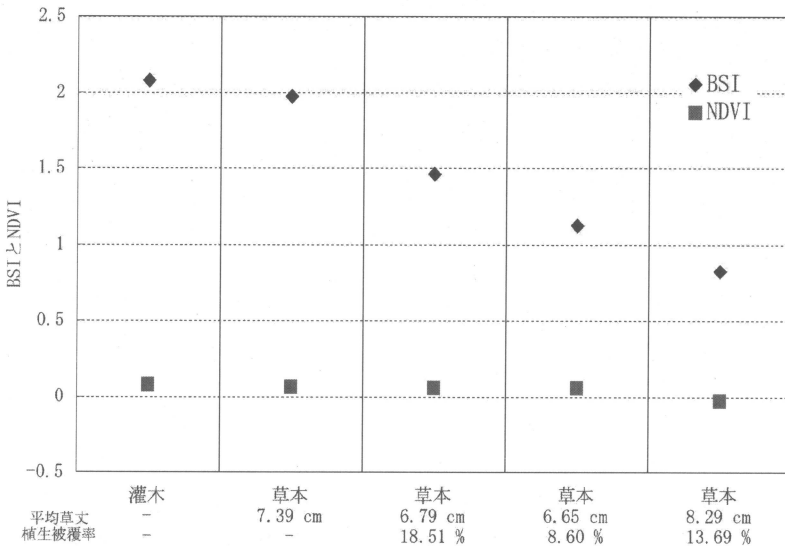
一般的に植生モニタリングに利用される正規化植生指数 (NDVI) が2次元的な植生の違いを表現するのに対し、このBSIは3次元的な植生の違いを表現することができる。第9図に示すように、NDVIではほとんど識別できない植生体の違いを、BSIでは識別できることが分かる。

#### 4. 結果

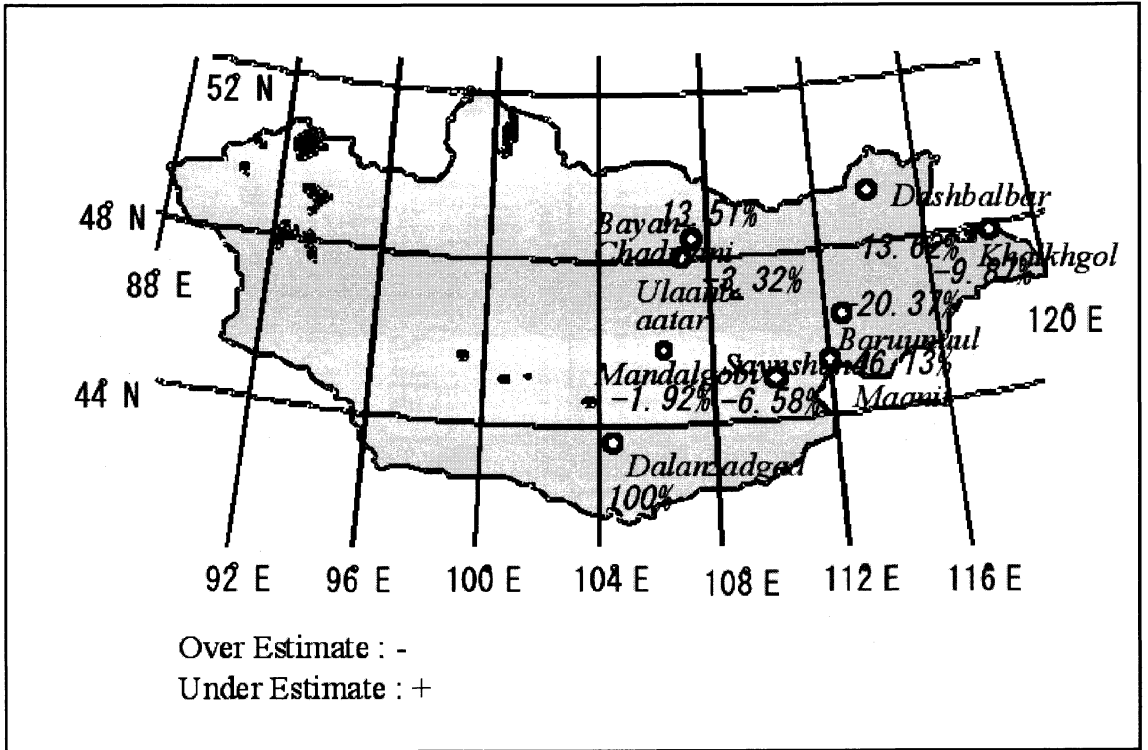
モンゴル全域におけるバイオマスの推定結果の一例を以下に示す。

(1) 数万平方キロでのバイオマス推定

前述の刈り取り観測、車輛移動多点観測によって得られる「分光データ-植生被



第9図 二方向性反射構造特性指数 (BSI) と正規化植生指数 (NDVI) の感度の比較。



第11図 衛星データにより推定したモンゴル草原のバイオマス推定誤差。

「覆率-バイオマスモデル」による推定を、モンゴル・ウランバートルで直接受信した衛星データ (NOAA/AVHRR-LAC データ) による推定と比較した。その結果、観測中心サイトであるモンゴル・マンダゴビの周辺においては、1%未満の誤差で推定できることが判明した (第10図: 792ページに掲載)。

#### (2) 数万平方キロでのバイオマス推定

上記の数万平方キロでのバイオマス推定と同様に、モンゴル草原の平坦かつ植生の均一な地域の15か所に配置されている気象観測所における現地観測データを用いて、コンポジット期間毎の広域バイオマスマップの精度評価を行った。その結果、観測サイトでの誤差率は数%, 周辺でも10%程度の誤差で推定可能であることが分かった (第11図)。

#### 参考文献

- 近田朝子, 山本浩万, 梶原康司, 本多嘉明, 2002: 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, 40, 1-8.
- 本多嘉明, 梶原康司, 山本浩万, 岡野千春, 黄少博, 松岡真如, 1997: モンゴル草原における広域観測領域を代表する最小面積に関する研究, 写真測量とリモートセンシング, 36, 20-26.
- 本多嘉明, 2002: 産業用無人ヘリコプターを用いた空中観測システム, 月刊『測量』, 2002年8月号.
- 松岡真如, 建石隆太郎, 1998: 時系列モデルを用いたAVHRRデータにおける反射率の補正に関する研究, 写真測量とリモートセンシング, 37, 2, 4-14.
- 山本浩万, 本多嘉明, 梶原康司, 岡野千春, 黄少博, 松岡真如, 1997: 衛星による草原バイオマス計測のための移動多点現地観測データ解析に関する研究, 写真測量とリモートセンシング, 36, 38-49.



## 4. 東アジアにおける近年の水循環と気候の変動について

安成 哲三\*

### 1. はじめに

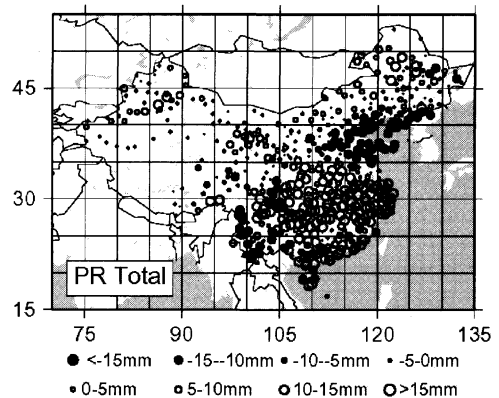
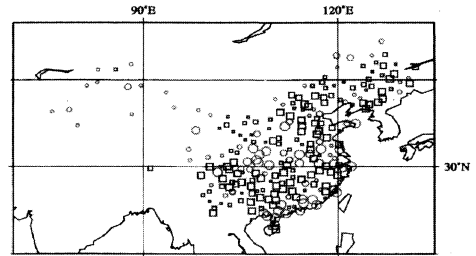
近年、特に1980年代以降、北半球高緯度を中心とした「温暖化」が非常に顕著に現れている。これが温室効果ガスの増加に伴う「地球温暖化」の現れではないかとする議論が活発になされている (IPCC, 2001など)。しかし、この「温暖化」に伴って、地球の水循環はどう変化するか、あるいはしつつあるのかという、人類にとって、ある意味でより重要かつ緊急の問題については、未解明あるいは不確定な要素が非常に大きい。多くの大気循環モデル (GCM) による数値実験は、温室効果ガスの増加に伴い全球的な水循環が活発化し、降水量は増加するという予測をしているが、モデルによるばらつきも、気温変化の予測に比べて、非常に大きい。また、近年の急激な「温暖化」に対応して、水循環が果たして現実には活発化しているかどうか、未解明である (Yasunari *et al.*, 2002)。特に、アジアモンスーン地域は、地球表層の水循環とその変動において、非常に大きな役割を果たしていること、この地域には地球人口の6割近くが集中し、今後の世界の水資源問題を考える上でも、非常に重要な地域であることなどから、水循環変動 (変化) の実態解明とその予測は、極めて重要かつ緊急の課題である。

この報告では、東アジアを中心とするアジアモンスーン地域における降水量、雲量など、水循環・気候要素の変動についての実態を報告し、今後の課題を含めて議論したい。

### 2. 東アジアにおける降水量の長期変化

中国を中心とする東アジアの降水量の経年変動と過去数十年の長期変化について、私たちのグループはいくつかの解析を行ってきた (Tian and Yasunari,

1992; Yatagai and Yasunari, 1994; Yatagai and Yasunari, 1995; Yasunari, *et al.*, 2002など)。これらの研究では、第1図に示すように、1950-1990年代、1960-2000年代とも夏の長江流域沿いの梅雨 (Meiyu) 前線帯にあたる地域において降水が増加していることを、顕著に示している。一方で、その北の黄河流域を中心とする半乾燥域と、その南の華南地域における減少傾向が、共通して見られる。いわゆるケッペンの気候分類を年々の気候にあてはめた年候の長期変化で



第1図 1951-1990 (上)と1961-2000 (下)における中国の夏季降水量のトレンド。上図は○(□)印が増加(減少)傾向を示す。下図では増加(減少)傾向は○(●)印、値を4段階の大きさで示す (Yasunari, *et al.*, 2002; Endo and Yasunari, 2003)。

\* 名古屋大学地球水循環研究センター/地球フロンティア研究システム. yasunari@hyarc.nagoya-u.ac.jp  
© 2004 日本気象学会