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

The Minimum Representative Area for Large Observation Site in Mongolian Grassland

本多嘉明・梶原康司・山本浩万・岡野千春・黄 少博・松岡真如*
Yoshiaki HONDA, Koji KAJIWARA, Hirokazu YAMAMOTO, Chiharu OKANO,
Shaobo HUANG and Masayuki MATSUOKA

Abstract : To verify the reliability of the algorithm for speculating physical variable from 1km satellite data, it is necessary to use the ground observational data to calculate physical value in a wide survey unit (1km×1km). Since it is difficult to conduct the ground observation within whole wide survey unit in short time, the minimal survey area which can represent a wide survey unit has to be determined. The research is aimed to find the minimal representing area of a wide survey unit through the car survey and radio-controlled helicopter survey.

Flat and homogeneous grassy plain in Mongolia is chosen as survey land. In case of car survey, 100 observational points are measured. VCR (Vegetation Coverage Ratio) values are calculated from spectrum information and used to compute the moving-averages of VCR. With the increasing of point number, the standard variation of moving-averages becomes smaller and smaller. When the variation approximately disappears after N points, the moving-average of VCR is considered as the observational value which can represent the value in wide survey unit. The total area size of N points at this time will be the minimal representing area of the wide survey unit.

Moreover, the result from the car survey may be obtained occasionally from ground surface in same situation. To confirm the result, additional observational data are taken from higher sky using radio-controlled helicopter. Each observational point has about minimal representation area. The standard variation of moving-averages in this case is very small. So it can be said that the method used in the research is a good way to calculate the minimal representing area of a wide survey unit.

1. はじめに

NASA が提唱した Earth System Science (1984) に
 は最初の10年で地球の様々な情報を集め、次の10年で
 モデル化を行い、最後の10年で地球上で生じる様々な
 事象の予測手法を確立することを目指すとしてい
 た。

1970年代から開始された衛星による地球観測は、
 Landsat, SPOT, MOS 等の多くの技術試験衛星の運
 用と技術の蓄積・進展を経て、1996年夏の地球観測衛
 星 ADEOS で初めて本格的な地球環境の把握が始

まったと考えると、Earth System Science で言われて
 いる最初の10年がやっと始まったと言える。

初期の衛星による地球の観測は、地図を作るような
 利用のされかたであった。今日では、地球の様々な事
 象を記述するための物理量を時系列で得ることを目的
 としている。衛星による地球観測は形状や大きさ、ま
 た対象の定性的な把握から、事象のモデル化や予測を
 目的とした定量的な計測へと移り変わろうとしてい
 る。このような衛星地球観測の流れの中で陸上の植生
 モニタリングのあり方も移り変わる必要がある。

2. 問題の所在

衛星観測で得られた情報から物理量を求めること
 は、地球の物質循環を把握する上で不可欠である。物
 理量の把握には、物理量推定アルゴリズムが必要であ

*千葉大学環境リモートセンシング研究センター Center
 for Environmental Remote Sensing, Chiba University
 千葉市稲毛区弥生町1-33

「写真測量とリモートセンシング」VOL. 36, NO. 5, 1997

る。この推定アルゴリズムがどの程度信頼できるか検証が必要である。

この検証は衛星観測と同期して、地表面や海表面で対象としている物理量を実際に観測して衛星データによる推定値と比較することで行われる。すなわち、実測値が得られないと推定アルゴリズムの正しさすら分らない。

しかし、地上解像度 1 km（例えば過去からの NOAA AVHRR データ、現在の ADEOS OCTS データ、将来的には ADEOS-II GLI、EOS-AM MODIS データ）に見合った実測値をくまなく短時間で収集することは不可能である。このことは、対象が大気や海洋のように空間的な様性が高いものでは特に問題にはならない。しかしながら、対象が地表面のように様性が低い場合は大きな問題となる。たとえ様性が高いと考えられる観測領域をみつけたとしても、本当に一様であるかどうかの確認が必要である。また、一様であると認められるのが、いかなる条件であるかを明らかにする必要がある。たとえば、植被がまばらな草原を対象と考えた場合、ミクロに草原を見ると一株ごとに草本があるところとないところがあり、一様とは言えない。つまり、どの程度の範囲を 1 ユニットとすると一様であるかという最小単位を明らかにする必要がある。

3. 研究の目的

本研究では、平坦で均質な草本植生が広がるモンゴル草原において、広域観測領域（1 km×1 km）の草本植生の分布が代表できる一様な最小面積を求めることを目的とする。

4. 観測手法と結果

一様として観測領域を代表する最小面積を求めるために 4.1 車両を用いた方法と 4.2 ラジコンヘリを用いた方法による観測を行った。観測対象地域は図 1 に示すような一様で平坦なモンゴル草原である。測定日時は各々 1996 年 8 月 14 日と 1996 年 8 月 15 日に実施した。このときの測定条件を表 1 に示す。

車両を用いた方法、ラジコンヘリを用いた方法ともに分光情報と CCD カメラによる画像情報を同時に取得をすることが可能である。測定箇所は同じであるが、

図 1 測定対象地域

表 1 本研究で使したデータの測定条件

取得日時	1996年 8月14日	1996年 8月15日
取得時間	15時44分 ～17時30分	12時05分 ～12時10分
積算回数	10	10
積分時間	0.08sec	0.16sec
チャンネル数	1024ch	512ch
波長分解能	0.68nm/ch	1.37nm/ch
観測角	Nadir	Nadir
視野角	約22°	約22°
高度	2 m16cm	約55m
データ数	100点	30点

表 1 に示すように各々の測定日時が異なり、同じ対象物でも土壌状態（土壌水分含有量など）による影響で分光情報が変化する可能性が考えられる。そこで本研究では直接分光情報を用いて比較することとを避け、両手法から各々取得できる植生被覆率に基づいて最小面積の比較を行った。

4.1 車両を用いた方法

この方法は図 2 のように車両の屋根からアームを出し、その先端にスペクトルメータ、GPS レシーバー、CCD カメラ、GPS カメラ（コニカ製）を装着してあり、車両を移動させて、迅速に地表面を観測できるものである¹⁾。GPS カメラは写真の上部に日時・時間・緯度・経度などの情報を写込むことができる。

また CCD カメラ、GPS カメラは分光計の視野と予め一致させているので、分光情報と画像情報の照合が容易である。この観測では 1 点あたり約 1 分間の観測時間で、1 km×2.5km の中を図 3 のように 100 点の観

図2 車両測定システムの外観

図3 車両による観測の測定位置分布

図4 車両観測の測定地点による植生被覆率の違い

測を行った。

得られた100点分の植生被覆率をグラフ化したものが図4である。なお植生被覆率は上記のシステムで取得されるビデオ画像データからもとめたものである^{2),3)}。このグラフでは縦軸が植生被覆率(Vegetation Coverage Ratio), 横軸が観測点番号であり、一見して一様に見える草原にもバラツキがあることがわかる。これに対して観測された植生被覆率の移動平均の平均をとる数を5~35にして計算した結果が図5に示してある。平均をとる数が約25個あたりを超えると、バラツキが少なくなることが分かる。これらの移動平均の平均をとる数ごとに移動平均値の分散と標準偏差を計算してグラフにしたものが図6である。平均をとる数が25個を超えてから、標準偏差、分散ともに小さく、ほぼ一定の値になることが分かる。つまり25点分の観測値でバラツキがなくなるといえる。

一観測点の対象面積 S は、分光計と CCD カメラの視野角、観測高度から

$$S = \pi \times 2.16^2 [\text{m}^2] \times \tan^2 \left(\frac{22^\circ}{2} \right) \approx 0.554 [\text{m}^2] \quad (1)$$

となる。先にバラツキがなくなる 5×5 点分の観測値でおよそ衛星の地上解像度 (ここでは NOAA

図5 図4に移動平均法を施した植生被覆率の測定地点による違い

AVHRR)の観測領域(1 km×1 km)を代表できると考えられるから、すなわちその面積 S' は

$$S' = 0.554[\text{m}^2] \times 5 \times 5 \approx 13.9[\text{m}^2] \quad (2)$$

である。

4.2 ラジコンヘリを用いた方法

図7のようにラジオコントロールヘリコプター(以下ラジコンヘリ)にスペクトルメータ、GPS レシーバ、CCD カメラ、マイクロコンピュータを搭載し、飛行す

ることにより1~150mの高度から地表面を観測できるシステムを用いてモンゴル草原を観測した⁴⁾。なお本研究におけるラジコンヘリの観測高度は約55mである。

4.1で得られた結果が、たまたま同じ状態の地表面ばかりをとらえた結果であるかもしれない。そこで、ラジコンヘリを用いて広範囲にわたって観測を一度に行えるシステムを利用して、広域観測領域内の任意の30点に対して観測を行った。ラジコンヘリに装着されて

図6 移動平均値の分散(上図)と標準偏差(下図)

図7 ラジコンヘリ測定システムの外観

いる分光放射計および CCD カメラがとらえる対象面積 S' は測定条件から

$$S' = \pi \times 55^2 [\text{m}^2] \times \tan^2\left(\frac{22^\circ}{2}\right) \approx 359 [\text{m}^2] \quad (3)$$

である。これによって、約 359m^2 を 1 ユニットとしてとらえた時にバラツキが認められるかどうかの確認を行った。

ラジコンヘリにおいても車両におけるシステム同様 CCD カメラによって地表面状態をとらえているが、ビデオ画像の画質の問題や 1 画素内の不明瞭さから植生被覆率を直接求めるのは困難である。そこで、まず車両の観測による NDVI (正規化植生指数) と植生被覆率との関係を単回帰分析によりもとめ、ラジコンヘリで取得されている分光情報から NDVI を計算して車両によってもとめられた植生被覆率-NDVI の関係に代入した。車両観測による NDVI と植生被覆率との関係を図 8 に示す。これを参照して分かるように非常に良い相関が見られる。ここで得られた単回帰式

$$VCR = 1.3537 \cdot NDVI - 0.24867 \quad (4)$$

VCR: 植生被覆率

にラジコンヘリで取得された NDVI 値を代入し、植生被覆率を観測点ごとにもとめた。このラジコンヘリ

$$\text{— } VCR = -0.24867 + 1.3537NDVI \\ r = 0.81334$$

図8 車両観測による NDVI と植生被覆率との関係

図9 ヘリ観測の測定地点による植生被覆率の違い

でとらえられる植生被覆率の観測点による違いを図9に示す。縦軸が植生被覆率、横軸が観測点番号である。このグラフからわかるように観測点ごとのバラツキがほとんどないことが分かる。この場合の分散は0.0006、標準偏差は0.024である。すなわちラジコンヘリ観測において、対象面積1ユニット内で観測される植生被覆率のバラツキが車両観測に比べ小さいことが確認された。

4.3 観測結果のまとめ

車両を用いた方法で、ラジコンヘリ観測で取得されたデータの標準偏差0.024と同じバラツキのデータを取得する場合、図6のグラフより移動平均に必要なデータ数は31個である。この時

$$S' = 0.554 \times 31 \approx 17.2 [\text{m}^2] \quad (5)$$

となる。

$$359 [\text{m}^2] \div 17.2 [\text{m}^2] \approx 21 \quad (6)$$

であるから、ヘリに装着されている分光放射計およびCCDカメラは約21倍の対象面積をとらえていることになる。自然植生を対象とした場合、21倍も対象面積と同等にバラツキがほとんど生じなくなる面積17.2m²を広域観測領域を代表する最小面積とするほうが車両観測25点分を最小面積とするより安全である。

以上のことから広域観測領域を代表する最小面積は約17.2m²であるといえる。すなわち、約17.2m²の範囲を実測することによって大面積（1 km×1 km）の草地相当の実測値が得られると考えられる。しかし4.2の実験結果から、ヘリは車両による観測に比べて短時間に約21倍もの視野面積を取得でき、よりバラツキの大きな対象にも対応できることが分かった。

5. まとめ

本研究では、車両を用いた方法とラジコンヘリを用いた方法で、平坦で均質な草本植生が広がるモンゴル草原において、広域観測領域（1 km×1 km）を代表する最小面積、約17.2m²を求めることができた。

また、観測の効率化を進めた車両を用いた方法でも100点観測に約2時間が必要であったのに対して、ラジコンヘリを用いた方法では30点観測に約5分で、100点観測をしても15分程度である。照明条件の時間変化等を考えるとき、このラジコンヘリを用いた方法がいかに優れているかが証明されたといえる。ラジコンヘリを利用した観測の場合、観測高度を変えることによって、広域観測領域を代表する最小面積を短時間で推定でき、現地調査の効率化が図られる。また、衛星観測と同期した観測の場合、現地観測時の照明条件を衛星と揃えるには光学的な観測時間のトータルをいかに短くできるか問題になる。この点でもラジコンヘリの利用は有効である。

今後は、本研究中で定めた方法により広域観測領域を代表する最小面積を求めて、対象内の草地から面積に相当する複数のバイオマス等のサンプルを得ることが考えられる。さらに最小面積の代表性をNDVIを含めていくつかの指標で統計学的に証明する必要がある。しかしながらこれを証明するためには、まず誤差を少なくするためにバイオマス等を数10m²から取得する方法の開発が必要である。複数の数10m²の対象からバイオマス等を経験者の練度の差異などから生じる誤差などを気にすることなく取得できる手法はない。この手法の開発は著者の経験から大きな困難をとまなうと考えられる。

(受付日1997.4.23, 受理日1997.9.12)

参考文献

- 1) 山本浩万・梶原康司・本多嘉明：モンゴル平原における移動多点観測，日本写真測量学会，平成7年度秋季学術講演会発表論文集，241-244，1995。
- 2) 山本浩万・梶原康司・本多嘉明：移動多点観測による植生被覆率推定に関する研究—モンゴル草原における実験一，日本写真測量学会，平成8年度年次学術講演会発表論文集，241-244，1996。
- 3) 山本浩万：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, 日本写真測量学会, 印刷中, 1997
- 4) Honda Y. and Kajiwara K.: Testing of Instant Aero Survey, Proceeding of the International Symposium on "The Role of Remote Sensing for The Environmental Issues in Arid and Semi-Arid Regions", 29-32, 1997.
 - 5) 本多嘉明・村井俊治: 世界の植生, 地学雑誌, 101(6), 514-527, 1992。
 - 6) 本多嘉明・村井俊治・E.O. Box・後藤真太郎: 人間活動による地球環境影響評価に関する研究, 東京大学生産技術研究報告, 38(2), 31-54, 1993。
 - 7) 本多嘉明: 衛星データを用いたモンゴル草原におけるバイオマス計測, 第3回生研フォーラム「宇宙からの地球環境モニタリング」論文集, 21-24, 1994。
 - 8) Honda, Y.: Grassland Biomass Monitoring using NOAA AVHRR, International Symposium on Remote Sensing on Remote Sensing, EMSEA, KSRS, 31-34, 1994.
 - 9) Honda, Y.: Ground Truth Database for Global Scale Research-Grassland Biomass Monitoring using NOAA AVHRR and Ground Truth-, Proceedings of the symposium on vegetation Monitoring, 178-186, 1995.
 - 10) Honda, Y., Kajiwara, K., Kimura, Y.: Ground Truth Image Data for Global Scale Research, Proceedings of International Symposium on Remote Sensing, 140-143, 1995.
 - 11) Kajiwara, K. and Kimura, Y.: Ground Truth Database for Global Scale Research International Archives of Photogrametry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B7, 291-297, 1996.
 - 12) Kajiwara, K.: Instant Aero Surveying, Proceedings of International Symposium on Remote Sensing, 121-124, 1996.
 - 13) Kajiwara, K. and Kimura, Y.: Ground Truth Database Development, Proceedings of The Inter-regional Semminar on Global Mapping for Implementation of Multinational Environmental Agreements, 1996.