

農業限界地における環境資源利用技術の開発と今後の研究推進

5. リモートセンシングを利用した乾燥地の草地保全計画

高 畑 滋

熱帯農業研究センター環境資源利用部

(現在 東北農業試験場 草地部)

Development of Techniques for the Utilization of Environmental Resources and Perspective of Promotion of Research in the Marginal Land Area

5. Planning for rangeland conservation in the dry areas using remote sensing

Shigeru TAKAHATA

Department of Grasslands, Tohoku National Agricultural Experiment Station

4, Akahira, Shimo-Kuriyagawa, Morioka, Iwate 020-01, Japan

It is estimated that there are about 20 million km² of dry rangelands, where land deterioration tends to increase. Rangeland conservation should be based on information about natural and socio-economic conditions obtained by remote sensing. The current study which aimed at developing a proper grazing system for sustainable use of rangelands, was conducted in the northern steppe of Syria as a cooperative research project between ICARDA and TARC from 1990.

The framework of the grazing system is shown in Fig. 10.

Remote sensing is useful to observe the wide rangelands and to acquire information for land use analysis.

Key words: rangeland, remote sensing, grazing, conservation, Syria

キーワード: 牧野, リモートセンシング, 放牧, 保全, シリア

1. はじめに

世界の牧野地帯は全陸地面積の 1/4, 4,000 万 km² におよぶといわれる程広大な面積を占める。気象的にも、地形・土壌からも農業限界地であるところが牧野になっている。このような地域で持続的牧畜利用計画を考えることは地球規模の環境問題にも通じる大きな課題である。「牧野の過放牧による砂漠化」は社会

的な注目を浴びていることであるが、広大な牧野地帯のどの場所でどんな現象が起きているかという現象論の段階でも実態ははっきりつかまれている。ニュース報道などで植生のない所で家畜が餓死していく様子などが示される。それはもはやその地域では放牧ができないことを明確にあらわしているが、生態学的な現象把握としては不十分である。その土地の気象や土壌はどういうものであったのか、最近変化しているの

か、植物の生育条件としての水・養分・温度の関係はどうか、薪採取や家畜放牧の程度はどのようなものであったのか、などが調べられてはじめて過放牧と砂漠化との関係が明らかになる。

この報告では西アジアシリア北部の牧野を試験地として、ランドサットデータ及び大縮尺空中写真によって植生の季節変化及び年次変化を解析し牧養力推定の基礎とした調査を報告する。

2. 牧畜地帯の成立条件

世界的にみた牧畜ゾーンは図1に示すとおりであるが、南北アメリカ、オーストラリア、ニュージーランドなどは19世紀以降の入植者によって牧畜が持ち込まれたものである。歴史的にみて牧畜が盛んであった所は、森林と草地の境界付近であった。そういう所には群居性草食獣が住んでいて、農耕民とは異なる発展をした牧畜民によって狩猟から遊牧へと展開していった。ユーラシア大陸では紀元前7000年頃より牧畜・農耕が始まったといわれる。牧畜地帯はサヘル、スーダンの牛飼育、北アフリカ、西アジアの羊・山羊飼育、ユーラシアの羊・山羊・馬・ラクダ飼育などに大別される¹⁾。

エネルギーサイクルの面からみると二次生産者である動物は、一次生産者の植物に支配され、草食獣は草

類の生育に支配される。草類は基本的には太陽（光・温度）と水に支配されるが、同じ植物でも森林植生が成立する場所では競合に負けて草原は成立しない。森林植生ができるのには Martonne の乾燥指数 $= p / (T + 10)$ (p : 年降水量 mm T : 年平均気温 $^{\circ}\text{C}$) が 40 以上といわれ、日本は全国土が森林地域に含まれる。乾燥指数が 5 ~ 10 をステップ地域、10 ~ 20 は乾燥耕作地域、20 ~ 30 は灌漑農業地域といわれるが、実際には植物の生育期間をあらわす月平均気温 5°C 以上を合計した温量指数もあわせて植生帯がわかれる。温量指数 15 以下はツンドラ地帯であるが、ここでもトナカイ遊牧民による牧畜が行われている。モンゴル高原では馬・羊・山羊・牛による牧畜が盛んであるが、温量指数 30 ~ 65, 乾燥指数 8 ~ 32 付近である。西アジアは羊・山羊・ラクダの牧畜で温量指数 90 ~ 200, 乾燥指数 5 ~ 35 の範囲である。アフリカの牧畜地帯は牛を飼い温量指数 140 ~ 250, 乾燥指数 5 ~ 30 くらいである。

3. シリアの自然環境

シリアの西には地中海があって湿った空気をもたらす。しかし海岸沿いにそびえる 3000 m 級のレバノン山脈、アンチレバノン山脈の二つの高い山脈に遮られて内陸は乾燥する。数百 km で年降水量が 1500 mm から 50 mm まで減少する。衛星画像 1 シーンの中で

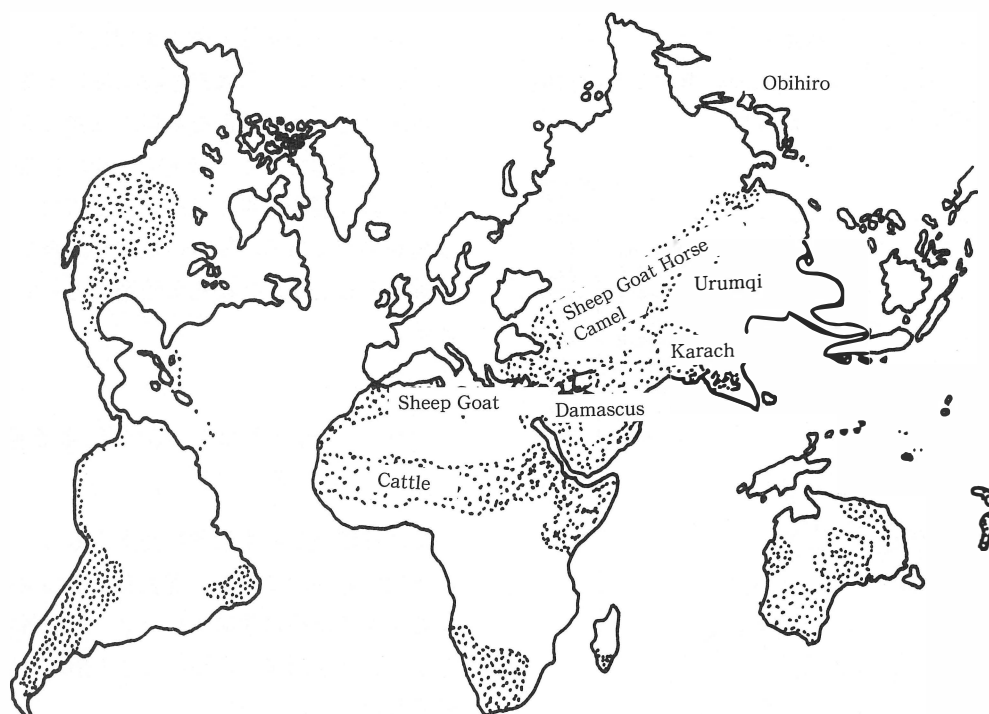


図1 世界の牧野地帯の分布

森林地帯から砂漠まで観察できる。

シリア北部アレppoは年降水量 332 mm (14 年平均値) であるが、ここを中心に国際乾燥地農業研究センター (ICARDA) の気象観測ネットがある。これを使って降水量の季節変化、年次変化、地域差などを知ることができる。

図 2 は最近 8 年間の月別降水量 (9 月更新) である。'87~'88 年は約 500 mm の多雨年であったが翌年からの 2 年間はその半分以下の 230 mm 台の寡雨年であった。乾燥地での降雨の特徴は季節的にも年次的にも変動が大きいことであって、'88~'89, '89~'90 年の寡雨年は秋には平年に近い降雨があったが春には少ない降り方であった。ムギ類の収量には秋の発芽と初期生育時の降雨が有効であるといわれ、'85~'86 年は寡雨年でしかも秋の降雨量が少なかったので不作年であった。牧草のように栄養生長が収量となるものではある程度大きくなって光合成が盛んな春の時期の降雨が収量に影響する。

乾燥地では年間降水量の多少だけではなくて植物の生育にとって有効な時期に降らなければ豊作とはならない。放牧地の草量に見合った放牧強度を保つことが、草地の保全にとって一番重要なことで、降水の時期と量とから牧養力を推定するモデルでその地域の草地管理をする必要がある。実際には降水と草の生産量との関係を示すデータの蓄積はないので、豊作年と不作年程度の分け方しかできない。また、放牧のコントロールもフェンスのない遊牧条件下では、ヘクタールあたり何頭という決め方はできない。季節ごとの営地の数と範囲を制限する方法しかない。

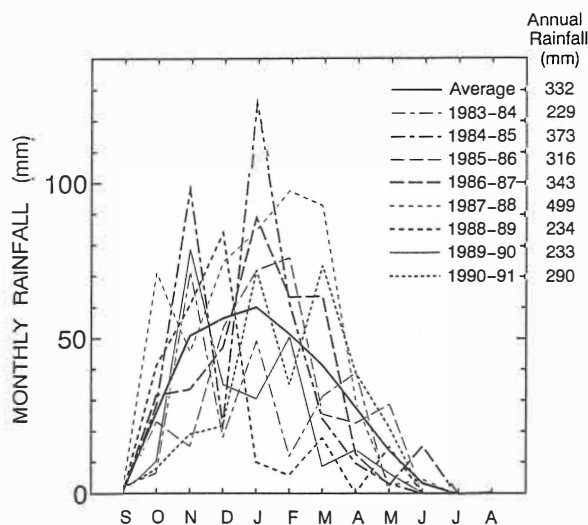


図 2 降水量の年別、月別変化 (シリア・アレppo)
乾燥地域での降水量は変動が大きい。

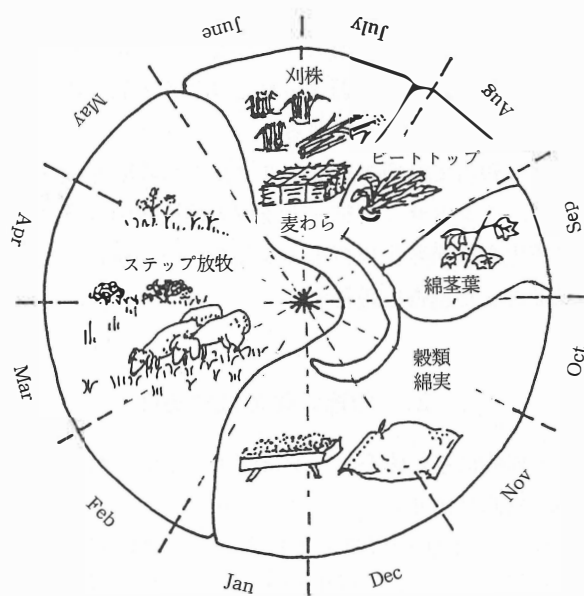


図 3 シリア北部の羊飼料供給構造モデル

4. シリアでの遊牧計画

羊の原産地はユーフラテス川、チグリス川の上流のアナトリア山地からイラン北部にかけてといわれる。この付近で羊の家畜化も始まったものと思われ、現在でも、東はモンゴルから西はモロッコに至る広大な羊・山羊牧畜地帯の中心的位置にある。

近年シリアでは羊飼育頭数が増加している。北シリアでの飼料供給構造モデルを図化したものが図 3 である。飼育基盤のうち牧野放牧に依存する割合は高くないが、ほとんどの季節で飼料の基礎になっている。牧野植生が貧弱であると穀実や麦稈に頼る率が高くなるので、農牧混合地帯では農作物残渣などの飼料化対策技術が必要である。牧野の植生を調査し適正な放牧圧に抑えることが、持続的な牧畜にとって必要なことである。

5. リモートセンシングによる植生推移 モニタリング

広大な地域の植生動態を観察するには衛星データの利用が効果的である。地表面からの反射のうち植生を強調するために TM4 バンド (近赤外領域) と TM3 バンド (赤領域) を使って植生指数 (VI) を次式で計算した。

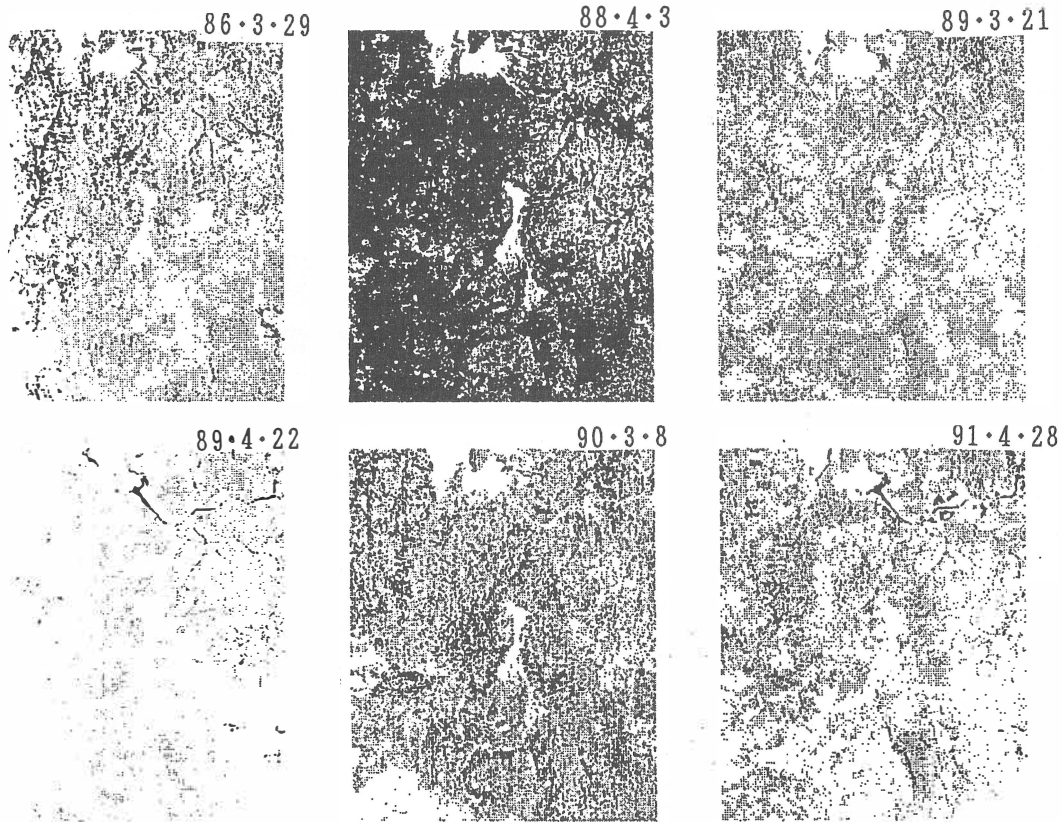


図4 春の植生指数はその年の降水状況によって変化する
1986-1991年, マガラ北部

$$(TM4 - TM3) / (TM4 + TM3) * 200 + 128$$

この値の128以下を白く出し、VI値の高い部分を黒く出力したのが図4である。中央北部と中心部に塩湖があり、季節的に干上がる場所はあるが全体に無植生である。北側塩湖より東側に川があり、湖の川沿いに植生指数の高いところが分布する。これより北側に耕地が多い。3～4月はムギ類の伸長期であり、最も植生指数の高くなる時期である。

春の植生指数の年次変化をみると、'88年>'90年>'86年>'91年>'89年の順で高かった。調査地から約80 km 西方での降水量と比較すると、'88年は例年の150%という多雨年であり特に1～3月に十分な降水があった。'89、'90年は例年の70%、88年の47%の降水量しかない寡雨年であった。'91年はやや寡雨年で例年の87%であった。月別の降水量をみると'89年は1月以降ほとんど雨が降らなかった年であり、最も干ばつがひどかった。'90年は2月に平年並みの降水があったため'89年よりも高い植生指数が得られた。しかし、畑地の大麦の植生指数は低かった。植生によって有効な降水パターンが違うものと思われる。

麦類、草本群落、灌木優占地など主要な植生ごとに植生指数地とバイオマスとの関係を明らかにすること、季節的降雨パターンと各植生の生育との関係を明らかにすることが今後の課題である。

6. 気球空中写真による植生判読

図5に示すような装置によって地上約200 mの高さからカラー写真とビデオを撮影し、植物群落密度と冠部被度とを測定した。図6は *Atriplex halimus* の冠部被度20.4%、図7は *Salsola vermiculata* の冠部被度4.9%である。

微地形と植生との関係を知るため凹地を中心に90 mのラインコドラートを取り草種、出現頻度、草高、被度を測定した。(図8, Table 1～3)

凹地の低い所に *Carex*, *Plantago*, *Peganum* が多く、周辺の高い所に *Hordeum* が多かった。微地形によって変わる土壌水分を利用した棲みわけと判読された。空中写真から植生分布の状況がよく判読された。(図9)

7. ま と め

ランドサットデータ及び大縮尺空中写真で乾燥地での草原植生の動態を知ることができた。まだ牧養力を

推定するところまでいっていないが、図 10 のように気象データとリモートセンシング、地理情報との関係を明らかにすることによって放牧で利用できる草量を推定することができよう。

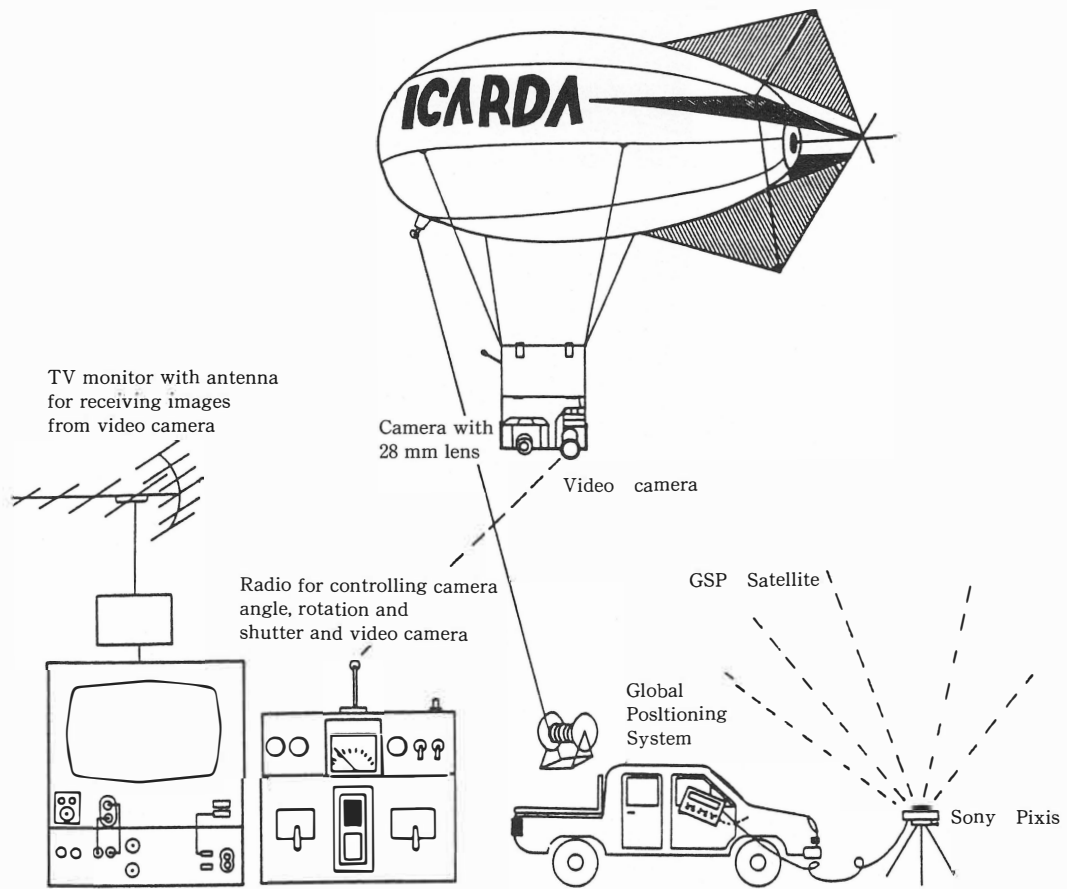
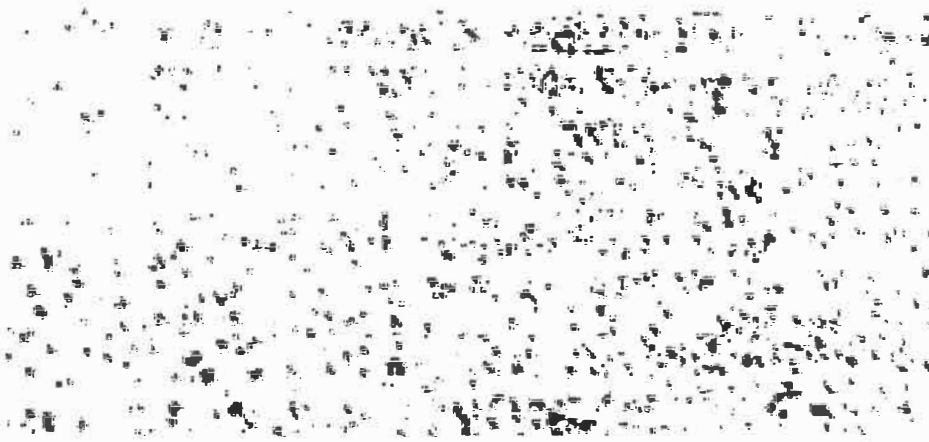
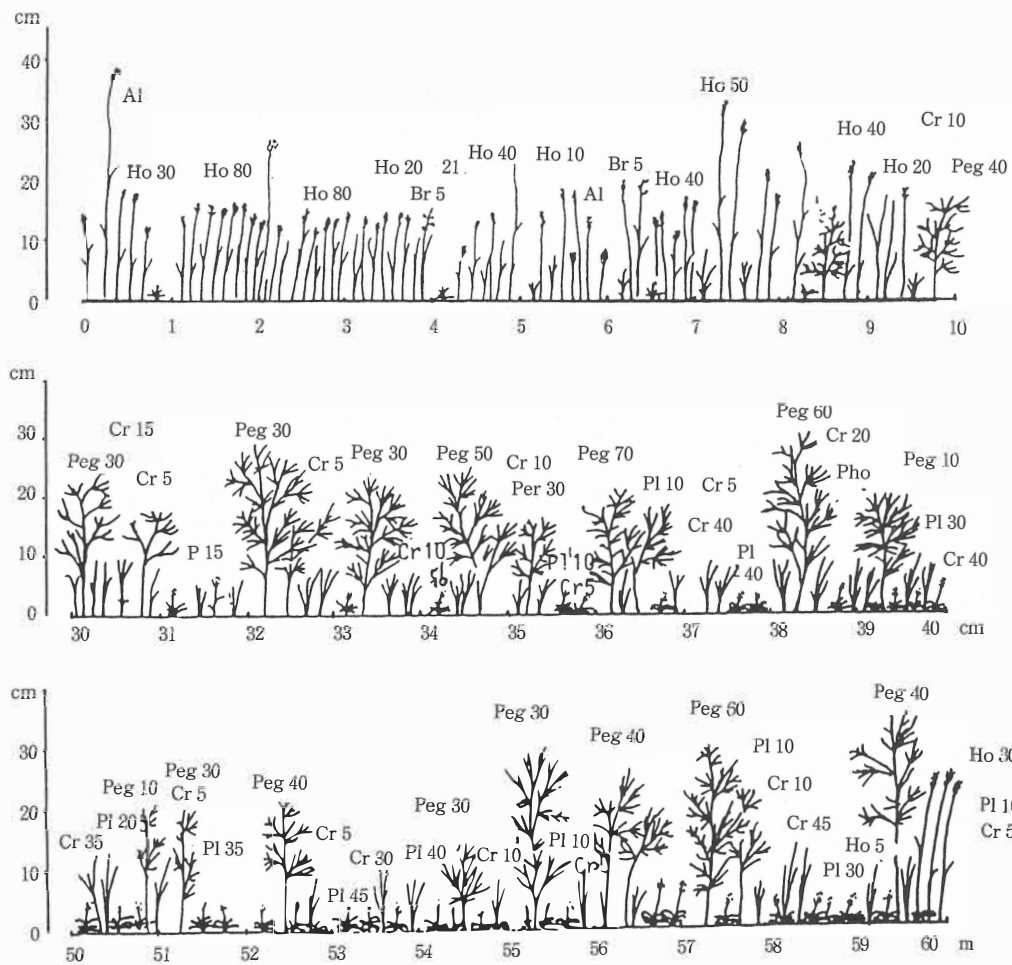


図5 気球式空中写真撮影装置



図6 *Atriplex halimus* 樹冠投影図 マラガ灌木植栽区 Plot 10

図7 *Salsola vermiculata* 樹冠投影図 マラガ灌木植栽区 Pilot 10

Ho=Hordeum, Br=Bromes, G=other grasses, Al=Allium, Cr=Carex,
Pl=Plantago, Peg=Peganum.

図8 草高と冠部被度模式図
草種名の後の数字は10メートルライン間の被度%
縦軸は草高 cm, 横軸は調査ライン m

Table 1 Frequency % Maragha Natural Plot 3 1991 / 5 / 5

	0 - 10 m	10 - 20 m	20 - 30 m	30 - 40 m	40 - 50 m	50 - 60 m	60 - 70 m	70 - 80 m	80 - 90 m
Hordium	100	70	10			20	90	100	100
Bromus	20							10	40
other Gramineae		30	20	10	20				10
Plantago	30	80	30	80	100	90	70	20	40
Carex	60	100	100	100	100	100	80		
Compositae		20	20	20	10	10	10		40
Umbelliferae									
Allium						10		10	
Peganum	20	90	100	80	60	80	90	50	40
Brassicaceae					10			20	40
others	30			10	10	10	10		50

Table 2 Plant Height cm Maragha Natural Plot 3 1991 / 5 / 5

	0 - 10 m	10 - 20 m	20 - 30 m	30 - 40 m	40 - 50 m	50 - 60 m	60 - 70 m	70 - 80 m	80 - 90 m
Hordium	44.5	22.9	30.0			26.5	34.2	32.4	23.3
Bromus	30.0							15.0	11.5
other Gramineae		5.0	6.0	8.0	9.0				9.0
Plantago	4.7	4.6	4.7	5.8	5.5	6.7	8.1	30.5	2.5
Carex	13.8	10.8	9.7	10.8	9.6	11.7	11.8		
Compositae		4.0	3.0	4.0	4.0	5.0	6.0		12.3
Umbelliferae									
Allium						8.0		22.0	
Peganum	33.5	30.5	27.0	26.8	21.8	22.0	27.2	26.8	29.8
Brassicaceae					10.0			28.0	26.8
others	34.7			4.0	1.0	6.0	7.0		9.4

Table 3 Coverage % Maragha Natural Plot 3 1991 / 5 / 5

	0 - 10 m	10 - 20 m	20 - 30 m	30 - 40 m	40 - 50 m	50 - 60 m	60 - 70 m	70 - 80 m	80 - 90 m
Hordium	41.0	9.0	1.0			3.5	26.5	78.0	47.0
Bromus	0.3							0.3	2.0
other Gramineae		2.7	2.0	1.5	1.5				0.2
Plantago	0.7	4.8	1.3	12.0	19.0	20.5	4.5	2.0	2.5
Carex	4.7	7.6	12.5	14.5	10.8	17.0	22.0		
Compositae		0.5	0.1	0.5	1.6	0.5	0.1		2.5
Umbelliferae									
Allium						0.2		0.5	
Peganum	7.0	20.5	26.0	32.0	19.0	34.0	27.5	10.5	11.0
Brassicaceae					0.5			0.6	5.5
others	0.7			0.3	0.1	0.1	0.5		0.7



Fig. 9. 気球写真で撮影したマラガ自然区 Plot 1

引用文献

- 1) 福井勝義・谷泰編集 (1987). 牧畜の原像・生態社会歴史. NHK.
- 2) Noor Mohammed (1989). Range management

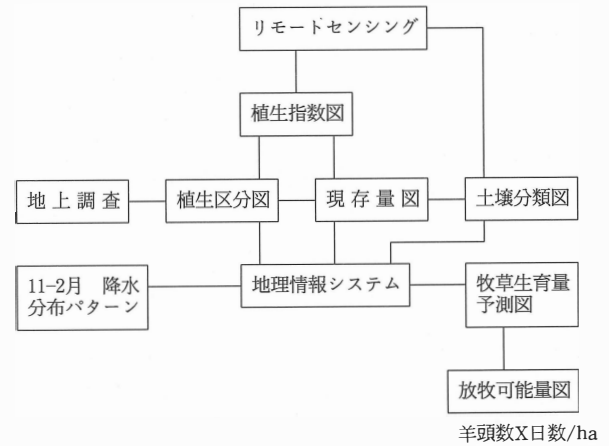


図10 リモートセンシングと地理情報システムを使った牧野の牧養力推定流れ図

in Pakistan, ICIMOD (Kathmandu).

- 3) G. Pickup and V. H. Chewings (1988). Forecasting patterns of soil erosion in arid lands from Landsat MSS data, Int. J. Remote Sensing 9 (1).
- 4) ICARDA. Annual Report 1984 ~ 1992.

コメント

リモートセンシングを利用した乾燥地の草地保全計画
についてのコメント

筑波大学教授 林 一 六

植生生理学の立場からこの発表についてコメントをする。

草地保全の問題を乾燥地域の広域植生分布を調査し、環境要因との関係を調べることから始めようという構想は植生地理学の役割を正しくとらえている点で評価できる。これにより草地の状態診断を行い、牧養力を判断して保全的、放牧計画につなげようということだと思うが、発表を聞いている限りでは、その前段の地域植生調査法の導入の段階で終わっているのが残念である。広域の植生調査をする場合にリモートセンシングが有効であることは知られているが、あくまでも地上での植物社会学的な調査の裏付けのある植生地を面的に拡げる手法だということに徹しなければならぬ。その点この調査では地上でのデータが不足である。乾燥地植生の調査例が少ないだけに惜しまれる。海外での植生調査にはアウフナーメ（植物社会学的調

査に必要な全植物のリストアップ）ができる現地研究者との共同作業が必要であろう。

発表では *Atriplex* や *Salsola* などの灌木類が生えているところがランドサットデータからよくわかるということであったが、牧野地帯の植生遷移では普通は家畜の放牧が進んだところにこれら灌木類が残るとみられている。放牧地での植生遷移も、家畜の種類や放牧強度、土壌や気象などの環境因子によって優占してくるものが異なると思われるので、よく観察してほしい。

放牧強度を調べるのはむずかしいとのことであったが、大事なことなので地域の生棲頭数だけでも調べられないだろうか。

年降水量が 200 mm に満たない乾燥地でも世界的にみるといろいろな植生がみられる。このような調査研究がもっと発展するように期待する。