

## 62 過放牧が侵食に及ぼす影響—ブラジルとチリの事例—

農林水産省森林総合研究所 ○北原 曜・阿部和時・工藤哲也  
ブラジルサンパウロ州森林院 Arthur Francisco Marques・Eliane Akiko Honda  
JICAチリ半乾燥地治山緑化計画 徳川浩一・小宮忠義  
チリ森林公社 (CONAF) Rodrigo Vargas

### 1. はじめに

ブラジル、チリなど南米の国々には、半乾燥地あるいは降雨量の少ない季節を持つ地域が広く分布している。これらの地域では放牧が盛んで主要な産業の一つとなっているが、適正な頭数以上に放牧する過放牧などによって、各所に著しく侵食が発生し深刻な事態を引き起こしている。JICAではこれらの地域の侵食防止および緑化を進めるため、ブラジル・サンパウロ州森林院と森林・環境保全研究計画を、チリ森林公社(CONAF)と半乾燥地治山緑化計画を行ってきている。筆者らは、これらの計画の一環として種々の土地利用を対象に現地水理実験を行い、過放牧によるキャトルステップ裸地や放牧草地の水理学的評価を行うことができたので報告する。

### 2. 対象地と実験方法

ブラジル・サンパウロ州における実験対象地<sup>3)</sup>は、州中部にある森林院所有のアグア・ダ・カショエイラ流域で、年降雨量は1400mmであるが雨期以外は非常に雨量が少ない。本流域の土地利用別面積配分は、放牧草地と農地(主にサトウキビ畑)がそれぞれ45%以上を占め、森林は5%以下である。森林は、天然林とユーカリやエリオットマツの人工林が存在する。そこで実験区は、キャトルステップ裸地を含む放牧草地と、その対比を見るための農地、人工林(ユーカリ、エリオットマツ)、天然林などを選定した。ただし、人工林は造林される前は放牧草地として使われており、また現在でもユーカリ林では多少とも林内放牧が行われている。

一方、チリ国における実験対象地<sup>4)</sup>は、サンチアゴより南西100kmにあるアルトロイカ地域およびその周辺で、年降雨量は200~400mmである。これら地域の土地利用は主に放牧草地である。天然林は河畔などごく一部にあるだけでまとまったものはなく、また人工林は主に放牧草地をユーカリやラジアータマツで造林したものである。そこで実験区は、キャトルステップ裸地を含む放牧草地、放牧草地内の灌木地、放牧されていない採草地のほか、その対比を見るための農地(収穫直前の麦畑)、人工林(ユーカリ、ラジアータマツ)、天然林などを選定した。なお、放牧の影響をみるため、ラジアータマツ林は林内放牧の有無で分けて選定した。

以上の2地域において地表流に関する現地水理実験を行った<sup>1) 2)</sup>。各実験区は条件が極力同一となるように、傾斜が7~16.5度の場所を選定した。また実験後は、実験区内のリター(落葉落枝)および草本の地上部をすべて採取し、絶乾後に秤量し地被量G(g/m<sup>2</sup>)とした。水理実験は、上流側より一定流量を供給し下流側でもう一度流量を測定するものである。測定は定常状態を確認後におこなった。流下距離は0.5~0.9m、幅は0.2mである。流速は、最上流端よりインクを滴下させ下流端を通過する時間を測定して算出した。侵食量Eは下流端で採取した水を濾過のち、絶乾重量を測定することにより得た。

粗度係数nの算出は平均流速公式 $n = R^{5/3} i^{1/2} / q$ を用いた。ここで、iは水面勾配(斜面傾斜)、Rは径深、qは単位幅あたりの流量である。ただし、qは流路幅をW(=0.2m)とすると、 $q = Q / W$ であるから、計測された流量Qから求められる。Rについては、水深がWに比べて非常に小さいので、ここでは $R = q / v$ で近似した。vはインクで求めた流速である。またqについては、 $q = (q_u + q_d) / 2$ とした。ここで、 $q_u$ は上流端における単位幅あたりの流量、 $q_d$ は下流端における単位幅あたりの流量である。一方、浸透強度sの算出は、 $s = (q_u - q_d) / d$ で求めた。ここで、dは流下距離である。各土地利用別に実験は1~3ヶ所行い、粗度係数n、浸透強度s、侵食量Eともその平均を求めた。

### 3. 実験結果と考察

表-1に水理実験の結果を示す。n値は、ブラジル、チリとも土地利用により顕著な差が認められた。まず、キャトルステップ裸地は0.01~0.02で極めて低い値を示し、放牧の影響が顕著であった。放牧草地のnは0.1以下で、高い被度で草本が覆っていてもそれほどnは高くならなかった。これに対して、採草地のnは0.18で放牧草地の2倍も高かった。この違いは放牧の有無による影響と推定される。他の土地利用のn値についてみると、人工林では一般に放牧の有無あるいは放牧の強度によってかなり大きな差が認められた。すなわち、ブラジルのユーカリ林やチリのマツ林に見られるように、森林を造成しても林内放牧するとn値は半分以下に低下する。なお、ユーカリ林よりマツ林のほうが全般に粗度が高い傾向があるようで、これはリター量と葉の形態が影響しているとも考えられる。これらの人工林は、放牧草地に造成され10年程度しか経過していないものも含まれることから、林内放牧をしない場合は植栽後急速に粗度を増し天然林のn値に近づくものと考えられる。特に、チリの放牧の

ないラジアータマツ林の場合は、乾燥気候下で針葉が分解しづらいためか、天然林に匹敵するリター量となり著しく粗度が高くなった。以上のことから、ブラジル、チリとも放牧草地や農地を森林に造成する場合には、ユーカリ類よりマツ類の方が侵食防止には効果的であると考えられる。また、灌木地では  $n$  が 0.26 で森林とほぼ同様であったが、この値は灌木で全て覆われた状態を想定して得られた値であり、灌木が散在する実際の放牧草地ではこの値より低くなると考えられる。

次に浸透強度  $s$  についてみると、一般にブラジルの方がチリより低い値を示したが、これは土質の違いに由来するものと考えられる。土地利用別にみると、一部欠測があり正確な値が得られなかった区もあったが、これらの区を除くとキャトルステップ裸地、放牧草地などで  $15 (\times 10^{-4} \text{ml/cm}^2/\text{s})$  程度あるいはそれ以下であった。 $s$  値 14 は 50mm/h の降雨強度に相当するので、これらの土地利用では雷雨性降雨時に地表流が発生すると推定される。一方、森林ではユーカリ林、マツ林の両人工林とも強度の林内放牧が行われている場所で低く、 $s$  値が 15 以下を示した。この原因は、造林する前の土地利用（主に放牧草地、農地の場合もある）による影響が残っていることと、現在も引き続き林内放牧が行われ土壌への踏圧の影響が大きいことによると推定される。実際に林内放牧なしのマツ林では  $s$  が高くなっているが、 $n$  に比べると  $s$  は放牧の影響がより大きく、かつ回復が遅いと考えられる。なお、天然林は 200 以上で地表流はまったく発生しないと考えられる。他の土地利用では、チリにおける採草地や農地の  $s$  が耕耘によって高い値を示したが、今後時間の経過とともに悪化することが推定される。

最後に侵食量  $E$  については、キャトルステップ裸地で  $1.5 \sim 3.5 (\text{g/m}^2/\text{s})$  もあり、きわめて大きい侵食量であった。この値は農地以上であり、キャトルステップ裸地は農地以上に侵食に対して弱いことが指摘できる。これに対し、放牧草地はキャトルステップ裸地の 1/100 以下で、 $n$  が小さい割には  $E$  が少ない。この原因はこれら牧草の根系が土壌を緊縛していることによると考えられる。またブラジルのユーカリ林のように、強度の林内放牧が行われている人工林でもキャトルステップ裸地の 1/10 程度の侵食が認められた。やはり、強度の林内放牧は森林といえども侵食の危険性が高い。なお、採草地や灌木地、弱度の林内放牧地、天然林は無視できる程度の侵食量であった。

#### 4. おわりに

ブラジル、チリにおける過放牧が侵食に及ぼす影響について、水理実験によって得た粗度係数、浸透強度、地表流による侵食量を用いて検討した。その結果、過放牧によるキャトルステップの発生は、粗度および浸透を低下させ侵食を激増させること、放牧草地は浸透を低下させるため地表流を増加させること、強度の林内放牧は粗度と浸透を著しく低下させ侵食を増加させること、放牧草地を造林すると粗度の回復は速いが浸透の回復は遅々としていることなどが判明した。

#### 引用文献

- (1)北原 曜ほか(1993) 中国黄土高原における森林の侵食防止機能の水理学的解明. 日林論104: 747-750
- (2)北原 曜ほか(1994) 中国黄土高原における森林の侵食防止機能の水理学的解明(Ⅱ) 地被量と粗度係数の関係. 日林論105: 587-590
- (3)Kitahara, Hikaru et. al(1995) Effects of revegetation for surface erosion. Proceedings of the International Sabo Symposium, Tokyo, Japan:355-360
- (4)北原 曜ほか(1996) 表面侵食に及ぼす地被の影響～チリ半乾燥地における事例～. 日林論107: 投稿中

表-1. ブラジルとチリにおける現地水理実験の結果

	ブラジル・サンパウロ州			チリ・アルトロイカ		
	$(\text{m}^{1/3}/\text{s})$	$(10^{-4} \text{ml/cm}^2/\text{s})$	$E (\text{g/m}^2/\text{s})$	$(\text{m}^{1/3}/\text{s})$	$(10^{-4} \text{ml/cm}^2/\text{s})$	$E (\text{g/m}^2/\text{s})$
キャトルステップ	0.0192	欠測	1.501	0.0073	8.33	3.326
放牧草地	0.0755	5.75	0.005	0.0926	15.44	0.003
採草地	—	—	—	0.1777	50.63	0.002
灌木地	—	—	—	0.2629	30.80	0.005
農地	0.0145	4.93	1.239	0.0592	52.95	0.099
ユーカリ林						
強度の林内放牧	0.0550	9.49	0.150	—	—	—
弱度	0.1324	12.68	0.001	0.2537	37.38	0.001
マツ林						
強度の林内放牧	—	—	—	0.2015	2.27	0.005
林内放牧なし	0.1911	40.16	0.001	0.6884	98.06	0.001
天然林	0.3463	330.93	0.001	0.3112	235.27	0.002