芝生の収容力に関する基礎的研究 (I)

——踏圧—土壤硬度に対する芝生の
植群の抵抗性からみた収容力について——

近 藤 三 雄*
小 沢 知 雄*

Fundamental Studies on the Carrying Capacity of Lawns and Lawns-area (I)
——Calculation of Carrying Capacity of Lawns as a Clue to
Elucidate the Resistant Properties of Vegetation against Soil
Hardness Owing to Trampling——

by Mitsuo KONDO*
Tomoo OZAWA*

1. 研究の目的

芝生の収容力とは、芝生を致命的に損傷することなく、人の利用を最大限に許容する能力をいう。

したがって、本研究ではその算定にあたって、単に物理的な利用密度からアプローチするのではなく、芝生の植生としての生態的強さを基軸に考えようとするものである。何故ならば、芝生地は芝生が良好に生育し、密に地表面を植被してはじめてその機能を発揮するからである。芝生が損傷あるいはその一部が裸地化するようであれば芝生の価値は減ずるわけであり、人の運動利用による芝生の衰退、裸地化を未然に防ぐ策として芝生の収容力の決定の意味があるわけである。当然のことながら、この結果と利用サイドからの快適性を求める意味での適正な利用密度の算定結果との照合の問題が最終的な芝生の収容力の結論を導きだす鍵となることはいうまでもない。

広く収容力の概念については江山¹⁾によって指適されしており、自然公園を対象とする収容力の呼称については *space capacity* という概念を打ちだしている。本研究では芝生の収容力を芝生の生態面から言及しようとするのが主たる目的であるので、牧野における牧養能力の意味で使用されている *carrying capacity of grazing ranges*²⁾, *range capacity*³⁾, *woodland carrying capacities*⁴⁾, *grazing capacity of ranges*⁵⁾ など⁶⁾ を斟酌し、収容力の呼称には *carrying capacity* をあてることにする。

本調査研究の眼目は何といっても芝生の適正な収容力を導きだすことにあるわけであるが、このテーマについて本調査研究のみで一つの答えをだすことは容易ではなく、ここではその基礎として芝生の植生の現況把握に

着手したわけである。このテーマを推進していく一つの基本姿勢として利用芝生については、数種の草種の混生 (*mixture*) した芝生を認める姿勢を前提にもつということである⁷⁾。ここで問題となるのは芝草の単一群落においてはまず問題はないが、数種の草種の混生した芝生ではデザイン的なテクニクスの問題がある。特に草種によってあるいは混生割合によっては荒廃した景観を呈する場合がある。植物生態学的に捉えた場合においても芝草に数種の草種 (雑草) が混生することは沼田⁸⁾ の指適する荒廃度 (*degree of deterioration*) が著しいということにもなる。このようにデザイン的にも生態的にも荒廃したものでなく、この両局面を満たすより質の高い混生芝生を造成、維持するための基礎的データの集積を図ることが本研究の眼目のわけである。芝生を一定状態に維持するためには芝生の生育状態からみた利用の許容限界つまり、収容力の算定が是非とも必要となるわけである。換言すれば、芝生地における利用ということは、種々の連動行為がなされても終局的には人の踏圧の程度ということに集約されるわけであるから芝生を構成する草種あるいは群落の踏圧土—土壤硬度に対する耐性の程度を見きわめるための調査研究ということになる。

また、従来芝生に関する研究は芝草個々の生態解明に終始した感があり、今後は雑草をも許容した数種の芝草からなる混生芝生の生態解明、さらには単一芝生との環境適応性の優劣を比較検討しながら、あらゆる環境条件に対して広範な適応性を有する混生芝生の理想的植生タイプとしての種組成の解明を図る必要がある。

本研究では前述したような観点に立脚し、芝生として最も過酷な環境条件下におかれる公園等の利用芝生における現況の植生について、特に利用 (踏圧) 頻度が高く土壤が固結した場所の植生がどのようになっているのかまたその程度によっていかなる種組成となっているのか

* 東京農業大学造園植物学第一研究室

をみるために東京都内で代表的な利用芝生を有する明治神宮、新宿御苑、代々木公園、砧公園の4箇所について観察調査を行なった。

併せて芝生地を構成する草種の踏圧に対する抵抗性を同一条件下でより詳細に把握するために、

- ①日本芝（コウライシバ）の単一芝生と数種の芝草（雑草）からなる混生芝生との踏圧という環境圧に対する抵抗性の違いを明らかにすることを主目的とし、さらに
- ②日本芝の単一芝生造成後、侵入してくる雑草の種類、それらの繁殖、生育過程、日本芝との種間競争あるいは踏圧という環境圧に対する日本芝の生態的变化を明らかにすること、
- ③種組成の異なる幾タイプかの数種の芝草（雑草）からなる混生芝生の草種相互間の種間競争、生育過程の変化侵入してくる雑草の種類、あるいは踏圧という環境圧に対する混生芝生の生態的变化を明らかにすることなどを目的として実験調査を行なった。

2. 調査方法

- 1) 観察調査(調査日時 昭和49年5月10日～11月10日)
それぞれの公園の芝生地における典型的な植生タイプを示す箇所を20箇所前後プロットし、100cm×100cm（1㎡）のコードラードをとり、Bran-Blanquetによる植生調査を行なった。コードラードの枠面積の規模の決定については佳山ら⁹⁾¹⁰⁾の事例を参考とした。さらにそれぞれの箇所について裸地化の程度、土壌硬度ならびに土壌水分（含水比）を測定した。その中でも主要箇所については生育基盤をより詳細に把握するために土壌 pH、土壌の栄養検定(アンモニア態窒素、有効態磷酸、磷酸吸収力、置換性加里、置換性石灰、置換性苦土、置換性マンガ、活性アルミニウム、腐植)を行なった。
- 2) 実験調査(実験日時 昭和48年5月30日～11月7日)
利用芝生地にみられた典型的な植生タイプ（種組成）を示す植生を土壌状態が一定である東京農業大学構内に

表—1 実験区分

A区	オ オ バ コ 4・4 シロツメクサ 1・2 スズメノカタビラ 1・2	E区	ア オ イ ゴ ケ 4・4 コウライシバ 4・4 オ オ バ コ + 1
B区	スズメノカタビラ 4・4 オ オ バ コ 2・3 シロツメクサ + 1	F区	コウライシバ 5・5
C区	シロツメクサ 4・4 コウライシバ 3・4 オ オ バ コ 2・2 スズメノカタビラ + 1	G区	ナガハグサ 4・4 オ オ バ コ + 1
D区	オ オ バ コ 3・4 シロツメクサ 3・3 コウライシバ 2・3	H区	シロツメクサ 4・4 オ オ バ コ

求め、ターフ（100×100cm）を剥ぎ取り採取し、別に用意した実験用方形木枠（100×100cm）に植え込み、育成養生し、実験区とした。実験セット時の植生の内容について被度・群度で示すと表—1の通りである。

ターフが完全活着後、体重60kgの人間による麦踏みとの要領による踏圧を行ない、適宜芝草（雑草）相互間の種間競争、生育過程の変化、侵入してくる雑草の種類、裸地化の程度、土壌硬度の変化などについて観察調査を行なった。なお、踏圧回数については踏圧に対する抵抗性をみるのが前提であったので、従来の知見¹¹⁾から実験区の裸地化を意図し、踏圧開始後17日間は1日7回踏みその後、実験終了時までの117日間は1日15回踏みとした。この間雨天の日は踏圧を行なわなかった。

3. 調査（実験）結果

1) 観察調査

①調査対象公園芝生地の植生の概況

イ. 明治神宮宝物殿前芝生地

調査対象公園の中では、年に2～3回の刈込みだけという最も粗放な管理下にあるため本芝生地を特徴づけるものは芝生地全域を占めるカゼクサの存在である。この他当初の造成草種であるノシバが全域に存在し、これらカゼクサ、ノシバの中にオオバコ、シロツメクサ、スズメノカタビラが順次散生し、特に樹林下の近辺、土壌水分の高い箇所にはオオバコの群落が目立つ。局所的に裸地化している箇所には夏季、オヒシバ、メヒシバ類（アキメヒシバ、メヒシバ）が繁茂する。

ロ. 代々木公園

年に2回の刈込と若干の除草が行なわれる程度と粗放な管理下におかれているためノシバ、オオバコ、シロツメクサが芝生地の主要構成種であり、環境条件によってこれら草種の混生割合が様々に異なる。この他、人の立入り利用が頻繁で裸地化しているような箇所にはオヒシバ、メヒシバ類が多く見られる。人の立入り利用もあまり多くない箇所では、オオバコ、シロツメクサと共にスズメノカタビラ、ナガハグサが見られる。

ハ. 新宿御苑

調査対象とした芝生地においては刈込、施肥、除草作業が実施され、最も密度の高い管理下におかれているため造成草種であるコウライシバ単一で、全面の植被がなされている。一部コウライシバが裸地化しかけている箇所にオヒシバ、メヒシバ類が侵入繁茂している。2、4—Dなどの広葉雑草防除のための除草剤が使用されているためオオバコなどの広葉雑草は全くみられない。

ニ. 砧公園

刈込、施肥、除草、目土作業の実施と比較的密度の高い管理化におかれているため、また、以前ゴルフ場であった関係から芝生地のほとんどは、造成草種であるノシ

表—2 調査対象公園芝生地の植生の概況

調査公園	植 生 の 概 況							
明治神宮	ノ シ バ	4・4	ノ シ バ	4・4	オ オ バ コ	5・5	ノ シ バ	5・5
	オ オ バ コ	4・4	カ ゼ ク サ	4・4	ノ シ バ	2・2	オ オ バ コ	2・2
	シロツメクサ	3・3	オ オ バ コ	3・3	スズメノカタビラ	1・1	シロツメクサ	1・1
	カ ゼ ク サ	1・1	シロツメクサ	1・2			カ ゼ ク サ	1・1
代々木公園	ノ シ バ	4・4	ノ シ バ	4・4	ナガハグサ	4・4	オ オ バ コ	4・4
	メ ヒ シ バ	2・2	メ ヒ シ バ 類	3・3	シロツメクサ	2・2	シロツメクサ	3・3
	シロツメクサ	1・1	オ オ バ コ	3・3	カ ゼ ク サ	2・2	メ ヒ シ バ 類	2・2
	オ オ バ コ	+	シロツメクサ	1・1	オ オ バ コ	1・1	ノ シ バ	1・1
新宿御苑	コウライシバ	4・4	コウライシバ	5・5	コウライシバ	4・4		
	メ ヒ シ バ 類	3・3	メ ヒ シ バ 類	3・3	メ ヒ シ バ 類	2・2		
					オ ヒ シ バ	2・2		
砧公園	コウライシバ	5・5	オ オ バ コ	4・4	コウライシバ	3・3		
	メ ヒ シ バ 類	+	シロツメクサ	2・2	オ ヒ シ バ	3・3		
			スズメノカタビラ	1・1				

表—3 調査対象公園芝生地の維持管理作業の概況

管理項目 調査対象公園	刈 込	施 肥	除 草	目 土
明治神宮	年に2～3回 (7月中旬 8月中旬～9月下旬)	—	—	—
代々木公園	年に2回 (6月 9月)	—	5月～9月にかけて手 抜きによる除草を若干 行なう。	—
新宿御苑	芝の生育期に月に2～ 3回程度 (2週間に1度)	2年に1回程化成肥料 を施用	年に2～3回(3月, 6 月, 10月)除草剤(シ マジン 2, 4-D)を散 布, この他手抜きによ る除草	—
砧公園	年に4回 (6月7月8月9月)	年に1回冬季に化成肥 料を施用	シマジン等の除草剤散 布と手抜きによる除草	施肥を行なう時に同時 に目土がけを行なう。

〔註〕 — 施用せず

バ, コウライシバの単一芝生となっている。これらノシバ, コウライシバが裸地化しかけている箇所にメヒシバ類, オヒシバ, オオバコが散見される。さらに樹林の下あるいはその近辺にはオオバコ, シロツメクサ, スズメノカタビラなどの群落がみられる。

以上述べてきた各公園別の植生の概況の調査例, 維持管理作業の概況について一括すると表—2, 表—3の通りである。

各公園の芝生地の植生を概観すると比較的単純な種の組成からなっていることが判明した。おおよそ以下に示す植物によって, その構成がなされている。

ノシバ, コウライシバ, シロツメクサ, ナガハグサ, スズメノカタビラ, オオバコ, オヒシバ, メヒシバ類, カゼクサ

このうちシロツメクサ, ナガハグサ, スズメノカタビラ, オオバコについては筆者の調査によるとカナダ, 北アメリカにおいて頻繁に利用される公園の芝生地にも, 主要草種として混生されており, さらに Bate¹²⁾ および Davies¹²⁾ がイギリスにおいて路傍その他人間及び車馬の蹂躪を受ける場所の植群の主要構成種であると述べ, わが国においても吉岡¹²⁾ は, 校庭運動場及び練兵場, 井手

ら¹³⁾は野球場を対象として同様の報告をしている。

ちなみに踏圧、蹂躪の激しい場所に生育する植物は何れもその構造や生活形が特異の性質を示すと指適¹²⁾されているが、その性質と考えられるものを列記すると次の通りとなる。

- 直接機械的障害に耐え得る強剛な茎葉を有する。
 - 踏圧、蹂躪されることの比較的少ない盛夏の短期間に生育を完了すること。
 - 草丈が低く、分けつ再生が強いもの。
 - 匍匐茎によって踏圧の被害を分散するとともに匍匐茎中に貯えた貯蔵養分によって旺盛に再生するもの。
 - 多汁（体内水分含量の高いもの）でないこと。
- したがって、踏圧に対する抵抗性の大なる植物はこれらの諸性質を満たすものであるといえる。

芝生地には、この他立地条件、環境条件、利用状態、管理状態によっては、混入率は低いが、多種類の草種が混生している場合もみられる。利用率が高く、しかも単なる草地ではなく芝生状態を呈する芝生地では、前記のいわゆる芝草（ノシバ、コウライシバ、シロツメクサ、ナガハグサ）ならびに路上植物群落－オオバコ群落¹⁴⁾の構成種（オオバコ、スズメノカタビラ、オヒシバ、メヒシバ類、カゼクサ）によってそのほとんどが構成されるといつてよい。ただし、これらの草種の混生割合が、種々の条件によって非常に多彩な様相を呈する。また、その混生状態は 図－1¹⁵⁾、表－4¹⁶⁾ に示すように各草種個々の季節別生育消長にしたがって季節によっても異なりさらにその生活型によってもその様相を異にする。

沼田⁸⁾は草地の状態診断を生活型組成によって行なう場合、短草型（シバ型）草地が荒廃の方向をとる場合は、 $D_{1-2}\%$ 、 $R_5\%$ 、 $Th\%$ 、 1% などが高くなることを指適した。表－5で解る通り、芝生地においてオヒシバ、メヒシバ類、スズメノカタビラの混生割合が高くなることは

図－1 各草種の種群落の日生産量（猶原 日本の草地社会より作成）

$R_5\%$ 、 $Th\%$ が高くなることであり、さらにオヒシバ、メヒシバ類は芝生地が裸地化した箇所に補欠現象として侵入してくるのであるから、まさしく芝生地が荒廃の方向をとるといえることが実感される。

②公園の芝生地の種組成－植生タイプを規定する要因

ここで公園の芝生地の種組成－植生タイプを規定する要因について概略整理すると表－5の通りとなる。この他にも一般的に植物の生育に影響する要因については種々のものが考えられるが、公園の芝生地ということであれば、表－5に示す項目に制約される。さらに各要因の影響度合を考えると同様に表－5に示す如くランク付けされる。人の立入踏圧を最大要因とした理由については観察調査において芝生地の表面（植生）状態は土壌の硬度の程度によって著しく影響を受ける¹⁷⁾ことが判明したからである。

③土壌硬度と芝生の表面（植生）状態との関係

今回の調査によって判明した土壌硬度の違いによる芝生の表面（植生）状態を大別すると次の通りとなった。

表－4 都内の芝生地に見られる主要草種の生活型ならびに生育期間

種名		生育期間(月)												生活型			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	休眠型	地下器官型	散布器官型	生育型
ノシバ コウライシバ(イネ科)	多年草													Ch	R ₁₋₂	D ₄	t
カゼクサ(イネ科)	多年草													H	R ₃	D ₄	t
ナガハグサ(イネ科)	多年草													H	R ₃	D ₄	t
スズメノカタビラ(イネ科)	1年草 (越年草)													Th(w)	R ₅	D ₄	t
オヒシバ(イネ科)	1年草													Th	R ₅	D ₄	t
メヒシバ類(イネ科)	1年草													Th	R ₄	D ₄	t
シロツメクサ(マメ科)	多年草													Ch	R ₄	D ₄	p
オオバコ(オオバコ科)	多年草													H	R ₃	D ₂₋₄	r

表一五 公園芝生地の種組成(植生タイプ)を規定する環境要因ならびにその影響強度について

小气候因子	地形因子	土 壤 因 子						生物的因子	維持管理	人為的因子					
		物 理 性			化 学 性										
氣 湿 降 日 水 温 度 量 照	斜面 の 方位	傾 斜 角 度	土 壤 構 造 土 性	三 相 割 合	土 壤 硬 度	土 壤 全 窒 素 (ph)	有 効 態 燐 酸	置 換 性 加 里	植 物 相 互 作 用 の 競 争	季 節 的 消 長	生 育 型 (形 狀)	刈 込	施 肥	除 草	立 入 踏 圧

■種の組成を左右する決定要因である。
 ■種の組成を左右する要因である。
 □種の組成に影響する要因である。

なお、土壤硬度の表示は山中式土壤硬度計による計測値である。

イ. 完全に裸地化している箇所

土壤硬度：指標目盛27～33mm（絶対硬度 46.6～366.7 kg/cm³）

ロ. 利用（踏圧）頻度が高いかあるいは芝生地内の通路となっている箇所ではノシバ、コウライシバが疲弊しており、やや裸地化しかけている。そのような箇所にはオヒシバ、メヒシバ類、オオバコがみられるが、オオバコはオヒシバ、メヒシバ類に比べて出現頻度が低い。オヒシバ、メヒシバ類は前述した通り、日本芝類が疲弊裸地化した後に補欠現象として出現する。

土壤硬度：指標目盛25～27mm（絶対硬度27.9～46.6kg/cm³）

ハ. 利用頻度は高いが裸地化せず一定の植被がなされている箇所はノシバ、コウライシバをベースとしてオヒシバ、メヒシバ類、オオバコそれに加えてカゼグサ、ナガハグサが主体をなしている。特に樹蔭下ではナガハグサ、オオバコがよく見かけられる。

土壤硬度：指標目盛23～25mm（絶対硬度17.7～27.9kg/cm³）

ニ. 適度な利用がなされ、ノシバあるいはコウライシバによって十分な植被がなされている箇所では、オヒシバ、メヒシバ類、オオバコ、カゼグサ、ナガハグサ、スズメノカタビラ、シロツメクサが散生している。オヒシバ、メヒシバ類の出現頻度は次第に低くなる。

土壤硬度：指標目盛19～23mm（絶対硬度 7.7～17.7kg/cm³）

ホ. 利用頻度の低い箇所は踏圧というよりもむしろ他の環境要因（日照条件、土壤の水分状態など）、維持管理要因（刈込、施肥、除草など）が支配的となり、前述した草種以外にそれぞれの条件に適応した種々な草種、例えばチドメグサ、アオイゴケ、カタバミ、スズメノヒエ、チカラシバ、セイヨウタンポポ、カントウタンポポ、ヘラオオバコ、カヤツリグサ、クサイ、ヤハズソウ、オランダミミナグサ、ギンギン類、ヒメスイバ、コニシキソウ、ヨモギ、ヒメジオン、ハルジオン、ヘビイチゴ、ミチヤナギなどがみられるようになる。

土壤硬度：指標目盛19mm以下（絶対硬度 7.7kg/cm³ 以下）

なお、表一六は新宿御苑をケーススタディーとした土壤硬度と表面（植生）状態の違いとの関係を見るために

表一六 表面状態（植生）の違いによる植生・含水比・土壤硬度の状態

新宿御苑 1974・9・18

表 面 状 態 (植 生)			含水比	土壤硬度()内平均値
完全に裸地化している箇所			0.61	27.0～30.0(28.25)
裸地化しかけている箇所	コウライシバ	4・4	0.68	22.0～27.5(24.65)
	メヒシバ類	4・4		
裸地化しかけておりオヒシバが侵入繁茂している箇所	オヒシバ	3・3	0.68	25.0～28.0(26.55)
	コウライシバ	2・2		
やや裸地化しかけている箇所	ノシバ	4・4	0.70	23.5～25.5(24.45)
	メヒシバ類	3・3		
	オヒシバ	2・2		
コウライシバの一部が裸地化している箇所			0.70	25.5～27.5(26.4)
一応の植被がなされている箇所	オオバコ	5・5	0.72	19.0～22.5(20.55)
	スズメノカタビラ	2・2		
ノシバで植被がなされている箇所			0.81	19.5～23.0(21.55)
一応の植被がなされている箇所	オオバコ	4・4	0.82	18.0～22.0(19.4)
	シロツメクサ	3・3		
	ノシバ	2・2		
	スズメノカタビラ	2・2		
	チドメグサ	5・5		
一応の植被がなされている箇所	オオバコ	2・2	0.86	15.5～18.5(17.1)
	スズメノヒエ	2・2		
	スズメノカタビラ	1・1		
	シロツメクサ	1・1		
	シロツメクサ	1・1		

行なった調査例であるが、前述した内容とほぼ同様の結果が得られ、さらには表面（植生）状態、土壌硬度と含水比は微妙な関係にあることが判明した。すなわち頻繁な踏圧が加わり土壌が固結し、植被が貧化し、裸地化が進むにしたがい、含水比が低くなる。つまり土壌の乾燥化をきたすことが判明したわけである。同様の指摘は飯泉ら¹⁸⁾によって放牧地を対象としてなされている。

④主要草種の生育消長と土壌硬度との関係

混生芝生を構成する主要草種各種の土壌硬度の程度との関係における生育消長について整理すると表一七に示す通りとなる。表一七から各草種の土壌硬度の程度による消長度合をみると以下に示すランク付けとなる。

オオシバ、メヒシバは過度の踏圧により裸地化をきたした箇所の補欠現象ということで、侵入してくるのであるから土壌硬度の最も高い箇所に生育する草種ということがいえる。ただし、土壌硬度が山中式土壌硬度計で指標目盛 29mm（絶対硬度 85.7kg/cm³）以上になるとオオシバ、メヒシバ類も補欠現象として侵入繁茂すること也不可能となり、全く裸地化を呈する。したがって、芝生地における土壌硬度に関する植物の生育限界は一応この程度であると考えられる。表一八に掲げた草種以外の土壌

表一七 各草種の生育消長と土壌硬度との関係について

硬度に関する生育能力はカゼクサ、ナガハグサ、スズメノカタビラ、シロツメクサ以下ということになり、山中式土壌硬度計で指標目盛 26mm（絶対硬度 35.86kg/cm³）以上になると生育しないということになる。ノシバ、コウライシバが裸地化せず一定の植被がなされている箇所の土壌硬度を調べるとおおむね山中式土壌硬度計で指標目盛25mm（絶対硬度27.9kg/cm³）程度以下であり、良好な生育状態を呈している箇所の土壌硬度は指標目盛23mm（絶対硬度17.7kg/cm³）以下であった。

⑤利用頻度が草種の形態に及ぼす影響

以上芝生地の植生の生育消長について土壌硬度との関係で述べてきたが、土壌の固結化は頻繁な踏圧が加わったことの証しであり、したがって植生の衰退、裸地化の原因は土壌の固結化による根系の生育停滞によることもさることながらあわせて頻繁な踏圧による地上部の機械的損傷によるものであるということである。その一例として利用（踏圧）頻度は草種の形態（葉面積、草丈）に著しく影響を及ぼす事実も表一八に示すように明らかとなった。

表一八で明らかな通りオオバコ、シロツメクサの形状は利用頻度が低く、土壌硬度の低い箇所では大である。日本芝の健全生育の限界値付近の土壌硬度となる利用頻度の箇所では草丈、葉面積とも土壌硬度の低い箇所に比してその大きさは半分程度となる。日本芝が疲弊する程度の土壌硬度となっている箇所ではその形状は全く矮小化し、消失寸前となる。

⑥公園芝生地における土壌の化学性

なお、参考までに調査対象とした公園芝生地の土壌の化学性については表一九に示す通りである。新宿御苑で酸性度が、やや高い他いずれの芝生地も弱酸性土壌であり、肥培管理が充分でないか全く行っていないため芝生の生育に必要な肥料要素（特に窒素、リン酸）はほとんど欠乏している。このように比較的貧乏な土壌であるから調査で明かなようにいわれる雑草の一定状態の生育が可能となるのであって、周到な肥培管理さらには刈込がなされるのであるならば、雑草は消長し、富養性の芝草が他の雑草の侵入繁茂を許さぬほど旺盛に繁茂するものと思われる。

表一八 利用（踏圧）頻度がオオバコ、シロツメクサの形態に及ぼす影響について 1974・9

調査場所	土壌硬度（ ）内平均値 mm	草種	葉面積 cm ²	草丈 cm
利用頻度が低く 踏圧のあまりかからない箇所	19.0～22.5 (20.8)	オオバコ	20.1	8.25
		シロツメクサ	5.15	10.3
適度な利用がなされている箇所	20.5～23.5 (22.75)	オオバコ	11.6	4.0
		シロツメクサ	2.45	5.95
利用頻度が高く やや裸地化しかかっている箇所	24.5～27.5 (25.55)	オオバコ	2.35	1.65
		シロツメクサ	1.4	1.35

表—9 公園芝生地土壤栄養分析結果

調査項目 調査場所	土壌反応 PH(H ₂ O)	アンモニ ア 態 窒 素	有効態 燐 酸	燐 酸 吸 収 力	置換性 加 里	置換性 石 灰	置換性 苦 土	置 換 性 マンガン	活 性 アルミニ ウム	腐 植
		ppm	ppm		ppm	%	ppm	ppm	ppm	%
明 治 神 宮	5.5~5.8	20	12.5~25	2,200	50~150	0.2~0.3	20~40	1~5	50~100	2.5~4.5
代々木公園	5.95~6.3	20	12.5~25	2,200以上	200	0.3	60~80	0.5~2.5	25	1.0~2.5
新宿御苑	4.6~5.1	20	12.5~25	2,200以上	100~200	0.09~0.2	10~20	2.5~10	200	2.5~4.0
砧 公 園	5.3~5.7	20	5 以下	1,200~1,600	200以上	0.2~0.3	10~60	2.5~5	50~200	3.5~4.0

〔註〕 土壌反応の検定はガラス電極 PH メーターにより行ない、その他の栄養分析については柳田式簡易土壤栄養診断器によった。なお、数値はいずれも乾土100g中の値である。

表—10 踏圧実験における植生の経時的变化

実験区	調査日	1(6/20)	2(7/7)	3(7/19)	4(8/7)	5(9/8)	6(10/3)	7(10/25)	8(11/7)
A区									
オ オ バ コ		4・4	2・3	1・2	+・2	+	—	—	—
シ ロ ツ メ ク サ		1・2	1・2	+・2	+・2	—	—	—	—
スズメノカタビラ		1・2	+	—	—	—	—	—	—
B区									
スズメノカタビラ		4・4	2・3	1・2	+	—	+・2	1・2	2・2
オ オ バ コ		2・3	2・3	2・3	1・2	+・2	+・2	+	+
シ ロ ツ メ ク サ		+・2	+・2	+・2	+・2	+・2	—	—	—
C区									
シ ロ シ メ ク サ		4・4	3・4	3・4	1・2	+	—	—	—
コ ウ ラ イ シ バ		3・4	3・4	3・4	4・4	4・4	4・4	4・4	4・4
オ オ バ コ		2・2	2・2	1・2	+・2	+	—	—	—
スズメノカタビラ		+・2	+・2	—	—	—	—	—	—
D区									
オ オ バ コ		3・4	3・3	1・2	1・1	+	+	+	+
シ ロ ツ メ ク サ		3・3	2・2	1・2	+・2	—	—	—	—
コ ウ ラ イ シ バ		2・3	3・3	3・3	3・3	3・3	3・3	3・3	3・3
E区									
ダ イ コ ン ド ラ		4・4	3・3	2・3	1・2	1・1	+	+	+
コ ウ ラ イ シ バ		4・4	4・4	4・4	4・4	5・4	5・4	5・4	5・4
オ オ バ コ		+・2	+・2	+・2	+	—	—	—	—
F区									
コ ウ ラ イ シ バ		5・5	5・5	5・5	5・5	5・5	5・5	5・5	5・5
G区									
ナ ガ ハ グ サ		4・4	4・4	4・4	4・4	3・3	3・3	3・3	3・3
オ オ バ コ		+・2	+	+	+	+	+	+	+
H区									
シ ロ ツ メ ク サ		4・4	4・4	3・3	2・3	+	+	—	—
オ オ バ コ		1・2	+・2	+	+	—	—	—	—

〔註〕 植生の経時的变化を被度・群度で表わしたもので、—(傍線)は個体の消失を意味する。

2) 実験調査

①概要

植生タイプの異なる芝生の踏圧に対する生態的变化ならびに抵抗性についての実験結果については表—10、図—2に示す通りである。

本実験の最終的な結果だけについて概略すると各区共コウライシバを除いて実験植付時草種(雑草)はすべて消失し、その箇所は裸地化をきたし、補欠現象としてオヒシバ、メヒシバ類が侵入繁茂したといえる。

各区ごとに最終的な結果について述べると以下の通り

図一2 踏圧実験における植生の経時的変化（植付草種・侵入草種・裸地部の量的変化）

となる。

A区：植付時のオオバコ、シロツメクサ、スズメノカタビラはすべて消失し、実験区の全域裸地化をきたす。

B区：スズメノカタビラの実生のみ残存し、オオバコ、シロツメクサは消失し、実験区の大部分が裸地化をきたす。

C区：コウライシバのみ残存し、他のシロツメクサ、オオバコ、スズメノカタビラは消失し、裸地化をきたす。コウライシバはその被覆面積を拡大する。

D区：コウライシバのみ残存し、オオバコ、シロツメクサは消失し、裸地化をきたす。実験区全域に補欠

現象として侵入してきたオヒシバ、メヒシバ類が繁茂する。

E区：コウライシバのみ残存し、アオイゴケ、オオバコは消失し、コウライシバはその被覆面積を実験区全域に拡げる。

F区：コウライシバやや疲弊、僅かに裸地化をきたす。

G区：被覆面積は植付け時の $\frac{1}{2}$ 程度となったが、ナガハグサは残存し、オオバコも極めて少数の個体が残存する。実験区に裸地化が目立つ。

H区：シロツメクサ、オオバコとも消失し、裸地化をきたす。補欠現象としてのオヒシバ、メヒシバ類の侵入もみられない。

各区ごとの概要は以上述べた通りであるが、各草種ごとの生育消長について述べると下記の通りである。

オオバコについては踏圧開始後30日目から急激に個体数、被覆面積が減少し 83～108 日目には完全に消失するかわずかに残存する程度であった。

シロツメクサについては踏圧開始30～49日目から個体数、被覆面積が減少し、83～108 日目には完全に消失する。

スズメノカタビラについては踏圧開始後17～30日目から急激に個体数、被覆面積が減少し、やがて完全に消失する。この現象は踏圧による衰退とスズメノカタビラのもつ越年草という生育特性に基づく植物季節による消長との相互関係によるものと思われる。その後 108 日目から実生が芽生え、以後生育し、被覆面積を増大する。

アオイゴケについては時間の経過とともに次第に個体数、被覆面積とも漸減、最終的には極めて少数の個体を残すのみとなった。

ナガハグサについては49日目から被覆面積はほとんど変化せず、83日目に個体の一部が消失しはじめ、被覆面積が減少したが、その後は顕著な動態を示さず、同一の状態が続いた。

コウライシバについては被覆面積は減少することなく踏圧開始後49～83日目から被覆面積を拡大した。

オヒシバ、メヒシバ類は裸地化した箇所への補欠現象として侵入繁茂することが実験的にも明らかとなった。なお、この他実験期間中、侵入繁茂してくる草種は皆無であった。

以上のことから考察すると単純踏圧に対してはコウライシバはオオバコ、スズメノカタビラ、シロツメクサ、ナガハグサに比して耐性が大であるということが実験的にも明らかになったということになる。ここで特記することは「シバ草原は耐えきれない強い外圧が加わると衰えてオオバコ群落にかわる」¹⁹⁾といわれるように一般的にはオオバコはシバ（ノシバ、コウライシバ）に比して踏みつけに対する物理的な抵抗性も大であり、最も耐踏圧性に富む草種と曲解されがちである。これについてはオオバコは踏圧に関してシバより抵抗性があるということだけでなく、シバが頻繁な踏圧をうけ裸地化した箇所にも種子によって発芽が可能であるので現象的にはシバよりも強いと思われるわけである。一方、シバは結実しても秕秕が多く容易に発芽しないため茎葉部が損傷すると再生できなくなるわけである。

このように一見踏圧に対する抵抗性の違いとみられる現象は実は実生による再生能力の違いであり、踏圧に対する物理的な抵抗性は本実験で明らかな通り、シバの方がオオバコより大なわけである。換言すれば、踏圧に対する抵抗性は物理的にはシバの方がオオバコより大であるが、生態的にはオオバコは茎葉損傷後も実生繁殖が可

能であるのでシバより再生能力が大ということになる。

本実験におけるコウライシバについても毎日15回という踏圧が加わっているため正常な状態で生育しているということではなく、かなり疲弊が目立つ。その裏付けとして実験区のコウライシバの葉を採取し、葉中のクロロフィルを抽出定量し、同一条件下にある踏圧をうけない（健全に生育している）対照区のものと比較すると表一11に示すようにクロロフィル含量にも歴然とした差がみられる。葉中のクロロフィル含量は光合成の活発度に直接影響を与え、植物の活力度を左右するものであるから表一11に示すような無踏圧区と踏圧区とのクロロフィル含量の数値的差異は毎日15回踏圧下のコウライシバの疲弊の程度を如実に物語るものである。

表一11 踏圧の有無によるコウライシバ葉中のクロロフィル含量の相違

踏圧の有無		無踏圧区	毎日15回踏圧区
クロロフィル含量			
クロロフィル a		1.82～1.92mg/ℓ (1.87)	1.19～1.22mg/ℓ (1.205)
クロロフィル b		0.75	0.54～0.55mg/ℓ (0.545)
全クロロフィル(a+b)		2.57～2.67mg/ℓ (2.62)	1.73～1.77mg/ℓ (1.75)

②踏圧回数と土壤硬度との関係

利用芝生における芝生の衰退の主原因は前述した通り、踏圧による地上部の直接的損傷と間接的には踏圧による土壤が固結化することにより地下部の生育伸長が充分でなくなるため衰退するの2点が考えられる。従来、踏圧回数と土壤硬度との明確な因果関係について実証した例はない。そこで、本実験と並行して踏圧回数の程度によって土壤がどの程度締め固まるかをみるために実験調査を行った。その結果については表一12に示す通りである。表一12から踏圧の回数と土壤の固結化の程度との判明した因果関係について概述すると大体以下の通りである。過去に得られた知見¹¹⁾²⁰⁾とのかねあいでは述べると毎日3回踏み程度ではむしろ生育を助長するといわれる山中式土壤硬度計の指標日盛21mm程度に締め固まり、5回踏み程度では同様に23mm程度に、地上部に害があらわれはじめるといわれる7回踏みでは根の伸長が阻害されるといわれる25mm程度に締め固まる。時々芝生に休息を与えることが必要といわれる10回踏みでは平均25mm、一部では顕著に害が現われる26mm程度にも締め固まる。明らかに芝生が衰退する15回踏みでは平均25.5mm、しかも一部では植被を維持することの限界とも思われる27mm程度に締め固まる。裸地化をきたすことが必至と思われる20回踏みでは平均26.6mmとほとんどの箇所が植被を維持することが限界と思われる27mm程度に固結した。当然の

ことのようにあるが、踏圧回数が増すごとに段階的に土壌は締め固まることが明瞭となった。ちなみに踏圧回数と土壌硬度との間には単純相関関係数で0.899という高い相関関係を示したことは注目される。このことはつまり土壌硬度と植生との関係を調査することによって踏圧に対する芝生地の植生の生態反応を把握しようとする本調査研究の姿勢の妥当性をより意義づけるものである。

表一12 踏圧回数と土壌硬度との関係

毎日3回踏圧	20,5 ~ 23,0 (21,3)
毎日5回踏圧	21,0 ~ 24,5 (23,0)
毎日7回踏圧	23,5 ~ 25,5 (24,8)
毎日10回踏圧	24,0 ~ 26,0 (24,9)
毎日15回踏圧	24,0 ~ 27,0 (25,4)
毎日20回踏圧	26,0 ~ 27,0 (26,6)

〔註〕 数値の単位は山中式土壌硬度計 縮長mm

4. 考 察

1) 芝生地の植群の利用頻度による消長ならびに土壌硬度・踏圧回数との対応関係

今回の調査研究を一応結論づけるために東京を標準とする芝生地の植群の利用頻度による消長ならびに土壌硬度、踏圧回数との対応関係を表一13のように整理した。

Dyksterhuis²¹⁾ Weaver²²⁾ によれば牧場にみられる植物を放牧に対する適応状態によって減少種 (decreaser) 増加種 (increaser), 侵入種 (invader) の3種に分類しているが、本研究では芝生地にみられる草種の区分にこの概念を導入し、さらに芝生地の実情を考慮して利用頻度一踏圧回数 (土壌硬度) に対する適応状態から新たに消失種 (disappearancer) という概念を加え、減少種, 増加種, 侵入種の4種に分類した。なお、Dyksterhuisら²¹⁾²²⁾は分類した3種の適応状態に対応する植物を固定化している。つまり、減少種はあくまで減少種としている。本研究では利用頻度によって消長する草種の状態把握の一手法として4種の適応状態を一つの尺度と考えているため4種の適応状態と各植物とは固定的に対応するものでなく、利用頻度によって各植物の適応状態は変化するものとした。なお、表一13に示す草種の配列は踏圧 (蹂躪) に対する耐性の順位を意味するものである。

2) 芝生地収容力の算定について

今回の実験観察調査により得られた結果の範囲内で、芝生地の収容力について言及を試みると単純踏圧回数が毎日15回踏みが芝生の状態維持のための限界という数値を基軸に収容力を算定することが妥当と考えられる。実際問題となると芝生地においては多様な利用がなされるわけであるから公園における種々の運動行為の総トータルが単純踏圧回数に換算して15回に相当する圧力がかかった時が収容力の限界値と考えられる。

因みに北海道農試²³⁾の実験データによれば人間の運動時の平均接地圧は0.4kg/cm²であるといわれる。この数値を参考にして、本研究による単純踏圧回数15回という

表一13 芝生地の植群の利用頻度による消長ならびに土壌硬度・踏圧回数との対応関係

植物名	利用頻度			
	軽度	頻繁	強度	激甚
ヘビイチゴ	↑	↑	↑	↑
ヒメ (ハル) ジオン				
ヨモギ				
カタバミ	減	消		
ノチドメ (オオチドメ)	少	失		
コバノニシキソウ				
ヒメスイバ	種	種		
ギンギン類			消	
ミミナグサ			失	消
セイヨウタンポポ				
ミチヤナギ			種	失
ヤハズソウ	↓↑	↓減		
ニワホコリ				
チカラシバ				種
スズメノヒエ		少		
アオイゴケ				
クサイ	増	種		
カヤツリグサ	加			
ヘラオオバコ	種	↓↑	↓↑	
ナガハグサ		増		
シロツメクサ		加		
スズメノカタビラ			減	
カゼクサ		種	少	
ギョウギンバ				
オオバコ			種	
コウライシバ				
ノシバ	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑
メヒシバ類	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑
オヒシバ	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑
植物名				
土壌硬度 (mm)	23	25	27	29
踏圧回数 (回)	3~5	7	10~15	20

値と考え併せると $0.4\text{kg}/\text{cm}^2 \times 15\text{回} = 6.0\text{kg}/\text{cm}^2$ という数値が算定される。したがって、芝生地¹⁾の収容力は芝生地の単位面積にかかる接地圧が1日 $6\text{kg}/\text{cm}^2$ 以下程度が限界値といえる。また、単純踏圧回数で7回踏み程度が芝生の健全生育維持のための限界値であるから、 $0.4\text{kg}/\text{cm}^2 \times 7\text{回} = 2.8\text{kg}/\text{cm}^2$ が接地圧でいう適正収容力の目安と推察される。今後は芝生地の収容力を算定するためには芝生地における利用実態を様々の視点から究明する必要がある。

3) 芝生地の望ましい種組成

利用芝生地においては造成当初のノシバ、コウライシバ単一で恒久的に維持することは管理上困難であるのでノシバ、コウライシバをベースとしてカゼクサ、シロツメクサ、オオバコ、ナガハグサなどの多年草による混生芝生として維持することが望ましい。

なお、ノシバ、コウライシバの占有率が50%を割らないことが重要である。裸地化した箇所への補欠現象として侵入繁茂する1年生のオヒシバ、メヒシバ類が生えるようです芝生地が疲弊・荒廃化の現れであるので要注意である。

これらの群落を安定した状態に維持するため、さらに芝生地の荒廃感を呈する高茎雑草の生育を抑えるために最低年に2～3回の刈込がぜひ必要となる。

問題となることにはここでいう混生芝生は現況においては当初から混生した種組成を意図して造成されたものでなく、ノシバ、コウライシバで芝生地の造成を図ったものが維持管理の程度、利用の頻度の影響を受けた結果として混生芝生が成立したわけである。したがって、混生芝生を当初から意図した造成が可能か否かという問題になると非常に難しく、今後の研究が待たれるところである。

5. 総 括

以上、終局的には公園芝生地における適正収容力を導きだすための基礎として、植物生態学のアプローチにより種々の条件下において混生状態を呈する公園芝生地の生態解明を踏圧—土壤硬度との関係において実験調査を行ってきたわけである。得られた結果の主なものを列記すると下記の通りである。

- 土壤硬度(踏圧頻度)の違いによって芝生の表面(植生)状態は著しく規定されることが判明した。したがって混生芝生の種組成を規定する主要因は人の利用による踏み固め—土壤硬度であると考えられる。
- 利用芝生において混生芝生を構成する主要草種は比較的種類が限られていることが判明した。ノシバ、コウライシバ、オオバコ、シロツメクサ、スズメノカタビラ、カゼクサ、オヒシバ、メヒシバ類などである。
- 主要草種の踏圧—土壤硬度に対する抵抗性をみると

オヒシバ > メヒシバ類 > ノシバ
コウライシバ
オオバコ > ナガハグサ
カゼクサ > スズメノカタビラ
シロツメクサ

という順位になる。なおこの順位はただ単に機械的な踏圧に対する強さというよりも生態的な強さともいえる。

●踏圧の程度と土壤硬度の大小とはかなり高い正の相関(ピアソンの相関係数で0.899)があることが判明した。

●コウライシバ、ノシバでは麦踏みの要領で、毎日15踏み程度の踏圧が加わると裸地化をきたし、オヒシバ、メヒシバ類を除く他の草種はこれ以下で裸地化をきたす。オヒシバ、メヒシバ類は裸地化した箇所への補欠現象として出現するようである。

●芝生地を構成するいずれの草種も土壤硬度については山中式土壤硬度計の指標目盛27mm程度が裸地化をきたす限界と考えられる。29mm以上になると完全に裸地化をきたし、オヒシバ、メヒシバ類による補欠現象も困難となる。

●ノシバ、コウライシバが裸地化せずに一定の植被がなされている箇所の土壤硬度を調べるとおおそ山中式土壤硬度計で25mm程度以下であり、色好な生育状態を呈している箇所の土壤硬度は23mm以下であった。

●オオバコは最も耐踏圧性に富む草種と曲解されがちであったが、本研究では踏圧に対する抵抗性はシバよりも明らかに劣ることが判明した。

●芝生地の限界収容力は単純踏圧回数でいえば15回、土壤硬度でいえば山中式土壤硬度計の指標目盛で27mm、接地圧でいえば $6.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 。適正収容力は踏圧回数でいえば7回、土壤硬度でいえば23mm、接地圧でいえば $2.8\text{kg}/\text{cm}^2$ という状態になった時といえる。

引用ならびに参考文献

- 1) 環境庁：自然公園における収容力に関する研究，pp. 1—16, 1973
- 2) Wootton, E.D. : Carrying capacity of grazing ranges in Southern Arizona, U.S. Dept. Agr. Bull, p. 367, 1916
- 3) Stoddart, L.A. : Range capacity determination, Ecology 16 (3), pp. 531—533, 1935
- 4) Denuyl, Daniel, and R.K. Day : Woodland carrying capacities and grazing injury studies, Ind. Agr. Expt. Sta. Bull, p. 391, 1934
- 5) Stoddart, L.A. : Problems in estimating grazing capacity of ranges, Proc. Sixth Internat. Grassland Congr., pp. 1367—1373, 1952
- 6) Dasmann, R.F. : Environmental Conservation, (4th Ed), John Wiley & Sons, Inc. New York, pp. 198—205, 1976

- 7) 小沢知雄・近藤三雄：わが国における芝生地的发展
拡大の数量的把握ならびに今後の芝草研究のあり方
について，芝草研究 Vol. 2, No. 1, pp. 13—17,
1973
- 8) 沼田 真：草地の状態診断に関する研究Ⅰ—生活型
組成による診断—，日本草地学会誌 Vol. 12 No. 1,
pp. 29—36, 1966
- 9) 佳山良正：牧草の被度および重量の分布型と稗面
積，日本草地学会誌 Vol. 7 No. 1, pp. 21—27,
1961
- 10) 嶋田 饒：牧野における固場試験法に関する研究，
第3報，シバ型草原におけるシバ現存量の推定法並
びに精密処理試験の適正規模について，東北大学農
学研究所彙報 Vol. 10, pp. 39—54, 1958
- 11) 小沢知雄・萩原信弘：土壤硬度が芝の生育に及ぼす
影響特に根の分布量に関する実験的研究，造園雑誌
Vol. 29 No. 2, pp. 12—17, 1965
- 12) 吉岡邦二：校庭運動場及び練兵場の植群について，
植物生態学会報 Vol. 2 No. 1, pp. 34—39, 1952
- 13) 井手久登・伊藤訓行：運動場の植生(1)—野球場の植
生，応用植物社会学研究1，pp. 49—55, 1972
- 14) 宮脇昭責任編集：原色科学大事典3—植物，学研，
東京，pp. 124—127, 1967
- 15) 猶原恭爾：日本の草地社会（草資源の研究），柏書
房，東京，pp. 14—201, 1974
- 16) 沼田 真・吉沢長人編：日本原色雑草図鑑，全国農
村教育協会，東京，1975
- 17) H. Burton Musser: Turf Management, McGRAW-
HILL BOOK COMPANY, Inc. New York, pp.
241—242, 1962
- 18) 飯泉茂・黒崎順二・菅原亀悦：放牧家畜の行動と植
群第4報，牛の行動が植群に及ぼす影響について，
東北大学農学研究所彙報 Vol. 8, pp. 125—140,
1957
- 19) 信州大学教養部・自然保護講座編：自然保護を考え
る，共立出版，東京，pp. 58—59, 1973
- 20) 斎藤勝雄編纂：造園実務集成庭園編(3) 庭園地被と
植物病虫害，技報堂，東京，pp. 44—51, 1973
- 21) Dyksterhuis, E.J. : Condition and management
of range land based quantitative ecology, Jour.
Range Management 2, pp. 104—115, 1949
- 22) Weaver, J.E. : North American Prairie, Johnson,
Lincoln, Nebraska, 1954
- 23) 三股正年・高野信雄：自然草地の改良と牧養力の向
上に関する研究，北海道農業試験場報告 No. 77,
pp. 128—130, 1970
- 24) 荒井正雄：雑草の個生態研究の意義，雑草研究 No.
4, pp. 1—10, 1965
- 25) 江原 薫：芝草社会学のターフ造成管理への応用(1)
(2), ゴルフ場セミナー5・6月号, pp. 103—105,
107—109, 1975
- 26) 江原 薫：地域・気候と芝草の管理，育成トラフ
ィックの害(1), ゴルフ場セミナー11・12月号, pp.
107—109, 111—113, 1975
- 27) Ehrlich, P.R., Ehrlich, A.H., Holden, J.P. :
Human Ecology. W.H. FREEMAN AND COM-
PANY, San Francisco, pp. 51—106, 1973
- 28) E.P. Odum : Fundamentals of Ecology. (3rd Ed),
W.B. Saunders, Philadelphia. 1971,
三島次郎訳：オダム生態学の基礎（下）培風館，東
京，pp. 554—556, 1975
- 29) 平吉功・松村正幸：シバ牧野に関する研究(Ⅰ)，日
本草地研究会誌 Vol. 3 No. 1, 2, pp. 16—22, 1957
- 30) 飯泉 茂：草地雑草群落の遷移，雑草研究 No. 7,
pp. 17—21, 1968
- 31) 伊藤 巖：草地の放牧利用と草原生態系，環境情報
科学4—1, pp. 14—21, 1975
- 32) Beard, J.B. : Turf grass Science and Culture,
American Society of Agronomy, Inc. Wisconsin,
pp. 217—233, 1969
- 33) 笠原安夫：わが国における雑草群落について，雑草
とその防除2号, pp. 12—16, 1964
- 34) 笠原安夫：山野草，人里植物，帰化植物，雑草およ
び作物の種類群と相互関係，雑草研究 No. 12, pp.
23—27, 1971
- 35) 吉良竜夫：生態学的にみたいわゆる過放牧牧野，植
物生態学会報 Vol. 2 No. 4, pp. 209—213, 1952
- 36) 日本生態学会環境問題専門委員会編：環境と生物指
標1 陸上編，共立出版，東京，pp. 201—210, 1975
- 37) 西村 昂：道路網容量理論に関する一考察，土木学
会論文報告集 No. 249, pp. 113—120, 1976
- 38) 農林水産技術会議事務局：野草および野草地の生態
と利用に関する研究，pp. 41—45, 99—101, 1971
- 39) 沼田 真：草地の状態診断に関する研究Ⅱ—種類組
成による診断—，日本草地学会誌 Vol. 12 No. 1,
pp. 29—36, 1966
- 40) 沼田 真：耕地雑草の一側面，雑草とその防除，3
号, pp. 19—23, 1965
- 41) 沼田真編：生態の事典，東京堂出版，東京，pp. 43,
50, 291, 305, 1976
- 42) Semple, A.T. : Grassland Improvement, LEON-
ALD HILL BOOKS, London, pp. 122—123, 1970
- 43) 清水正元：土壤反応と植物の生育1，日本草地研究
会誌 Vol. 4 No. 3・4, pp. 98—102, 1959
- 44) 清水正元：土壤反応と植物の生育2，日本草地研究
会誌 Vol. 5 No. 2, pp. 78—80, 1960

- 45) 菅原亀悦・飯泉茂・黒崎順二：放牧家畜の行動と植群 第7報, シバ型放牧地におけるウマタテバ植群とふん塊上の植物, 東北大学農学研究所彙報 Vol. 11, pp. 437—445, 1960
- 46) 嶋田 饒：草地における雑草の競争, 雑草研究 No. 5, pp. 40—47, 1966
- 47) Thomas, W.A. : Indicators of Environmental Quality, Plenum Press, New York, 1972, 日本化学会訳編：環境質の指標, 丸善, 東京, pp. 271—280, 1974
- 48) 宮下和喜：絶滅の生態学, 思索社, 東京, pp. 124—140, 1976

Summary

Intending to clear up scope of carrying capacity of lawns, it is recorded, at first, that result brought about some experimental investigation on relationship of soil hardness owing to trampling, as follows.

- (1) The experimental results which were obtained in the way described above are summerized in Fig. 13.
- (2) Floristic composition of lawns is influenced by the extent of soil hardness owing to frequency of trampling.
- (3) Principal kind of pastures and wild grasses composed mix lawns were found to be limited a species.

There grasses are as follows :

Zoysia japonica Steud, *Zoysia matrella* Merr, *Trifolium repens* L., *Poa pratensis* L., *Poa annua* L., *Platago asiatica* L., *Eleusine indica* Gaerth, *Digitaria* genus and *Eragrostis ferruginea* P. Beau V. It showed results appoximately similar to those of other studies.

- (4) Principal kind of pastures and wild grasses are stronger at trampling resistant properties are ordered as follows :

Eleusine indica Gaerth>*Digitaria* genus>*Zoysia japonica* Steud=>*Zoysia matrella* Merr>*Platago*

asiatica L. =>*Eragrostis ferruginea* P. Beau V. >*Poa pratensis* L. =>*Poa annua* L. =>*Trifolium repens* L.

The order is guessed more physical trampling resistant properties than ecological resistance. It close agreement between observed and experimented values was obtained.

- (5) The stronger corelation was observed between trampling and soil hardness (a coefficient of correlation 0.899).
- (6) *Zoysia* genus become bare by trampling the method of trading on barley plants 15th of every day. Other kind of pastures and wild grasses become bare less than trampling 15th of every day except *Eleusine indica* Gaerth. and *Digitaria* genus. It seems that *Eleusine indica* Gaerth. and *Digitaria* genus invade bare ground as supplementary phenomena.
- (7) All kind of pastures and wild grasses composed lawns become bare limit of soil hardness is 27mm indicative graduations of Yamanaka's soil hardness meter, and become bare ground completely is more than 29mm indicative graduations.
- (8) The state of growth of *Zoysia* genus do not become bare but canopy is less than 25mm indicative graduations of Yamanaka's soil hardness Meter. Good growing conditions of *Zoysia* genus is less than 23mm indicative graduations.
- (9) The limits of carrying capacity of lawns is expressed from the result of this study with some values are as follows, the number of times of trampling is 15th of every day, soil hardness is 27mm indicative graduations of Yamanaka's soil hardness Meter, ground contact pressure is 6.0kg/cm². A proper carrying capacity are as follows, the number of times of trampling is 7th of every day, soil hardness is 23mm indicative graduations, ground contact pressure is 2.8kg/cm².