芝生の収容力に関する基礎的研究 (III)

——利用者の行動ならびに芝生の損傷度に基づく収容力の算定について——

近 藤 三 雄*

Fundamental Studies on the Carrying Capacity of Lawns and Lawns-area (III)

——Calculation of Carrying Capacity of Lawns-area Based on the Behaviour of the Users and Extent of the Damage to a Turf——

by Mitsuo KONDO*

I. は じ め に

前報⁴⁾においては新宿御苑をケーススタディーとした芝生地の利用実態調査の結果を報告した。前報⁴⁾の調査結果で、芝生地の利用実態と利用者の行動特性とが明らかとなった。

本報においては、その結果の解析と実験圃場におけるモデル実験を行い、芝生地における利用行動と芝生損傷度からみた収容力について考究した。ここでいう収容力とは単位面積当りにおける芝生を損傷することなく、利用者数を最大に許容する能力、換言すれば、1人当りどの程度の芝生地が確保されるならば、平均的な利用状況の下で、芝生を損傷することなく、維持できるかという数値を算出しようとするものである。

II. 研究手 順

① 前報⁴⁾の調査において、観察された芝生地における各利用行動がどの程度、芝生に損傷を与えるかという問題を解明する基礎として、まず、芝生地で見られる運動利用、つまり38種類の遊戯・スポーツならびに静的利用、遊歩について「走る」「歩く」などの12種類の基本的身体運動⁵⁾（基本動作）にそれぞれの占める割合によって比率分けした。個々の利用行動は、突き詰めて考えると幾種類かの基本的身体運動の複合によって構成されるという認識に基き、アプローチしたものである。

② 次に、これらの基本的身体運動が芝生に及ぼす損傷度合、土壌の固結化の程度を圃場におけるモデル実験によって、明らかにした。

③ ①②を基にそれぞれの利用行動(遊戯, スポーツ)の芝生に及ぼす損傷度合, 土壌の固結化の程度を判定した。

④ 芝生地の利用の基本となる歩行について、芝生面にかかる圧力を測定機械によって求めた。

⑤ 以上の手順にそって本研究を推め、結論として、芝生地における滞留時間を基に利用者1人当りの平均行動量を把握することによって、収容力の算定を行った。

⑥ ⑤で得られた数値を基に新宿御苑芝生地の収容力を求め、前報⁴⁾で得られた利用実態調査結果と照合することによって、新宿御苑芝生地の利用実態が収容力の観点から適正か否かを言及した。

III. 各利用行動についての 基本的身体運動による比率分け

芝生地で行われる行動のほとんどはスポーツあるいは遊戯の範疇に含まれるものであり、種々の基本的身体運動の複合によって成るものである。運動を構成する基本的身体運動については、体育学の分野において、種々の研究例⁵⁾がある。ここではそれらを参考とし、芝生地で行われる各種の利用行動を構成する基本的身体運動として「走る」「歩く」「跳ねる」「蹴る」「こする」「ひねる」「つつく」「止まる」「屈伸する」「立つ」「座る」「寝る」の12種類を考えた。

各利用行動について、該当する基本的身体運動の総計を10とし、それぞれが、占める割合によって、比率配分した。その結果については表-1に示す通りである。

IV. 実験圃場における芝生損傷度実験

12種類の基本的身体運動の他、特殊な利用行動となるベビーカーによる利用、縄とびなどが芝生に及ぼす損傷度合、土壌の固結化の程度をみるための実験を行った。

1. 実験方法

* 東京農業大学造園植物学第一研究室

表一 芝生地でみられる利用行動を構成する各基本的身体運動の占める割合と各利用行動が芝生に及ぼす損傷度合の判定結果

基本的身体運動 利用の種類		走る	歩く	跳ねる	蹴る	こする	ひねる	つつく	止まる	屈伸	立つ	座る	寝る	地上部損傷度ラン ク値計	土壌硬 度増加 比計
静的利用	絵座立									1.0	7.0			22.3	27.3
	をていつて										10.0			20.0	24.7
	かいてる											10.0		20.0	19.8
	くるる												10.0	20.0	16.1
運動	A ボール投げ	1.0	2.0	0.5	0.5		1.0		1.0	0.5	3.5			43.9	38.19
	ドッチボール	2.0	2.0	0.5	0.5		1.0		1.0	0.5	2.5			45.2	41.51
	バレエ	1.5	1.5	0.5			0.5		0.5	0.5	4.0			30.3	31.25
	バトミントン	2.5	1.5	0.5			0.5		1.0	0.5	3.5			37.6	38.00
	ボール蹴り	2.0	2.0		0.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	2.0			51.6	40.25
	テニス	2.0	1.0	0.5	0.5		1.5		2.0	0.5	2.0			46.2	39.57
	ビンボー	1.0	2.0	0.5			1.0		1.0	0.5	4.0			39.5	36.75
	フリスビー	2.0	2.0	0.5			1.0		1.0	0.5	3.0			40.8	40.07
	ゴキウ	0.5	2.5			0.5	1.0	0.5			5.0			40.7	33.90
	飛行機遊び	2.0	2.0	0.5			0.5		1.5	0.5	3.0			40.9	40.51
動	B 綱引き		1.0		1.0		3.0		3.0	2.0				77.3	38.35
	相撲		1.0		2.0	0.5	2.0	0.5	1.0	1.0	2.0			67.5	34.18
	おし合い				1.5		1.5			1.5	5.5			44.5	23.20
利	C なうま													37.1	30.59
	わつと	1.5	1.5	1.0	0.5		1.0		1.0		4.0			40.0	51.10
	とびし	1.0	1.0	1.0			0.5		0.5	1.0	5.0			45.5	38.57
用	D か二鳩	8.0	0.5				0.5		1.0					40.0	51.10
	けん	7.0	1.0				1.0		1.0					45.5	38.57
	っ三	4.0	3.0						1.0		2.0			45.8	49.13
	追	4.0	3.0						1.0		2.0			45.8	49.54
	しゃあ	4.0	3.0						1.0		2.0			35.9	48.95
	バン	3.0	1.0	0.5					0.5	0.5	4.5			35.9	48.95
	かじん	1.0	3.0			0.5		0.5	1.0		4.0			29.8	34.56
	かじん	3.5	2.0						0.5		4.0			38.5	39.25
	たて	1.0	2.0						1.0		6.0			30.35	40.31
	はな	1.0	9.0						1.0		3.0			31.1	33.38
遊	E ぶんじんおに	1.0	4.0						0.5		2.5	2.0		28.9	44.95
	*ぶっ切り	3.0	1.0	0.5			0.5		1.0		4.0			35.7	36.78
	*グーチョキン		1.5	1.5		1.0	1.5		1.5		3.0			51.9	36.08
	トレース	3.0	2.0	0.5	0.5		0.5		0.5	1.0	2.0			38.8	42.53
	ダレン	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0			62.7	38.53
	F ベビーカー													30.0	40.9
遊歩			9.0								1.0			28.1	66.59

注) 遊戯名については中島海編：遊戯大事典（不昧堂出版）⁸⁾によったが*印のものに関しては遊戯大事典その他の文献にも該当するものがなく一部地域において呼称されている通俗名で記した。

A：投げる，打つ動作を主とするもの B：地面をおすような動作を主とするもの

C：跳びはねる動作を主とするもの D：走る動作と歩く動作を主とするもの

E：様々な動作を複合しているようなもの F：その他

実験圃場（東京都世田谷区）で育成した実験用ターフに対して，昭和51年9月16日に「歩く」「蹴る」などの基本的身体運動を同一人によって，連続的に加えさせ，芝生の損傷度合，土壌の団結化の程度を測定した。

実験用ターフには一定状態に生育させたコウライシバ（*Zoysia matrella* Merr.）を供試した。実験区画の大きさは加える運動の規模に対応させて，0.25×0.5m，0.5

×1.0m，0.5×1.7m，0.8×1.0m とした。養生管理は6月25日，8月30日の2回，刈高3cm前後に刈込みを行い，併せて施肥，除草も行った。実験時においては，通常の公園芝生の草丈とみなされる4～5cm程度にした。

実験用ターフに加える基本的身体運動は連続1,000回を目途として行い，損傷現象が早期に見られたものだけは500回で打ち切った。「座る」「寝る」などの静的動

表一 2 基本的身体運動が芝生に及ぼす損傷度の判定結果（足底部位、靴の種類による違い）

基 本 的 身 体 運 動	足 底 部 位	地 上 部 損 傷 度		土 壌 硬 度 増 加 比	
		運 動 靴	革 靴	運 動 靴	革 靴
走 る	つま先全体 足底	3 3	3 4	5.22 4.51 4.66 *	4.78 6.73 3.69
歩 く	つま先全体 足底	3 ~ 2 3 ~ 2	3 ~ 2 4	6.11 7.30 7.84	4.15 12.16 5.73
跳 ね る	つま先全体 足底	3 4	3 3	4.52 5.18 3.65	6.22 4.76 3.57
蹴 る	足底全体	10	10	4.52 4.74	5.48 3.25
こ す る	つま先全体 足底	7 9 ~ 8	5 7	1.09 3.32 2.12	1.21 1.14 1.51
ひ ね る	つま先全体 足底踵	10 10 10	9 10 10	4.55 3.19 2.30 4.69	2.58 2.12 2.02 6.19
つ っ つ く	つま先	10	10	1.38	2.63
止 ま る	足底全体 足底踵	10 10	10 10	3.94 5.00 2.94	4.98 4.66 4.56
屈 伸	つま先全体 足底	3 ~ 2 3 ~ 2	3 ~ 2 3 ~ 2	1.59 1.48 1.57	1.88 2.29 0.76
立 つ		2	2	1.45	1.76
座 る		2		2.47	
寝 る		2		1.98	
な わ と び		4	4	4.83	5.39
ベ ビ ー カ ー		3		4.09	
椅 子 に 座 る		3		1.71	

注）地上部損傷度は以下に示す基準によって判定した。

10：運動開始後間もなく裸地化を呈する。

9：運動開始から徐々に損傷し始め、終了時点では明らかに裸地化を呈する。

8：運動終了時点でかなり裸地化を呈する。

7：運動終了時点である程度裸地化を呈する。

6：運動終了時点でやや裸地化を呈する。

5：運動終了時点でわずかに裸地化を呈する。

4：裸地化には至らぬが、茎葉が損傷し草汁がでる。

3：草汁はでないが茎葉がかなりひどく倒伏、芝生表面に凹みができる。

2：茎葉が倒伏する。

1：芝生の地上部にはほとんど影響を及ぼさない。

土壌硬度増加比は次式によって求めた。

$$\frac{\text{運動後の芝生地表面絶対硬度 (kg/cm}^3\text{)}}{\text{運動前の芝生地表面絶対硬度 (kg/cm}^3\text{)}}$$

* 足底全体の前方部、後方部の2箇所の値である。

作はその性格からして連続回数で運動するものではないので、一定動作を1時間継続することによって、動的動作における動作回数の代替とした。

基本的身体運動の種類によっては、芝生面にかかる足底の部分異なることによって、芝生に与える影響に差異がみられると考え、足裏全体、つま先、かかとの3種に分け、実験を行った。また、実際の利用を想定し、靴の種類によっても芝生の損傷度は異なると考え、運動靴と革靴の両方を用いて実験を行った。

芝生の損傷度合の判定は、表一2に示す便宜的に10段階に分けた基準によって行った。土壌の固結化の程度の把握については、運動開始前後に土壌硬度を1区画につき10箇所を山中式土壌硬度計で測定し、運動前値に対する運動後の土壌硬度増加比によって求めた。

2. 実験結果

実験結果については、表一2、3に示す通りである。表一2については各基本的身体運動について、足底部位、靴の種類別にそれぞれ得られた実験の結果を掲載したも

表—3 基本的身体運動が芝生に及ぼす損傷度の判定結果（平均値）

基本的身体運動	走る	歩く	跳ねる	蹴る	こする	ひねる	つつく	止まる	屈伸	立つ	座る	寝る
地上部損傷度	3.3	2.9	3.3	10.0	6.9	9.8	10.0	10.0	2.5	2.0	2.0	2.0
土壌硬度増加比	4.93	7.22	4.65	4.50	1.73	3.46	2.01	4.35	1.60	1.61	2.47	1.98

表—4 歩行時の芝生面にかかる圧力の測定結果

被 験 者	体 重	測 定 値	接 地 圧
A	61kg	51.6 (57.0~41.0) kg	0.323 (0.356~0.256) kg/cm ²
B	58	45.2 (53.0~33.0)	0.283 (0.331~0.206)
C	48	32.9 (42.0~21.0)	0.206 (0.263~0.131)

注) 測定値は100回測定した結果の平均値。()内の数値は最高値~最低値を示す。

のであり、表—3については、それらを一括して平均したものを各基本的身体運動別に示したものである。

地上部損傷度の激しい基本的身体運動としては「ひねる」「止まる」「蹴る」「つつく」があげられる。これらはいずれも地上部損傷度10であり、運動後、間もなく裸地化を呈するものである。この結果は、これらの運動が地面を掘るような動作や芝生面と靴底の摩擦が激しい動作であることによるためと考えられる。次いで、損傷度平均6.9の「こする」があげられる。この他の「走る」「跳ねる」「歩く」は損傷度平均3.3~2.9とこれらの運動から受ける印象の割には損傷度が低い。また、静的要素の強い「屈伸する」「立つ」「座る」「寝る」は茎葉を倒伏させる程度で、芝生を損傷することは全くなく、したがって、損傷度も平均2.5以下と極めて低い。

土壌の固結化を促す運動としては、「歩く」が土壌硬度増加比7.22と最も土壌の固結化をきたす運動であることが判明し、次いで「走る」4.93、「跳ねる」4.65、「蹴る」4.50、「止まる」4.35、「ひねる」3.46、「座る」2.47、「つつく」2.01、「寝る」1.98、「こする」1.73、「立つ」1.61、「屈伸する」1.60という順序になる。

地上部損傷度と土壌硬度増加比の両側面から、この実験結果を考察すると、「屈伸する」「立つ」「座る」「寝る」の静的要素の強い動作を除く、他の基本的身体運動については、地上部損傷度と土壌硬度増加比とは大旨、反比例関係にあるとみなせる。

つま先、かかと、足裏全体では、どの部位がより地上部を損傷し、土壌の固結化をきたすかをみると、運動の種類によっても異なり、断定的なこともいえないが、大体その程度はつま先、足裏全体、かかとの順に大となる。

運動靴と革靴との違いによる地上部損傷度を比較しても一概にどちらの靴の方が損傷度が大きいとはいえない。すなわち「止まる」「蹴る」「つつく」「屈伸する」などの動作については運動靴よりも革靴の方が地上部損傷度が大きくなる。一方、「こする」「跳ねる」「縄

とび」などの動作は運動靴の方が損傷が大である。この他の「ひねる」「歩く」「走る」については、靴底の種類による損傷度の違いはみられない。

V. 歩行時の芝生面にかかる圧力の測定

圃場におけるモデル実験において、最も土壌の固結化をきたすと判定された「歩く」動作の芝生面にかかる圧力を測定することを試みた。使用した測定器械はダイナミックプレスマシーン（笹富商事製）と呼ばれ、本来、体育学の分野において、アイソメトリックス (isometric) トレーニング用に使用されるものを応用し、歩行時の垂直方向にかかる圧力を単位面積当りの重量によって、測定したわけである。

測定結果については表—4に示す通りである。表—4の測定値は3人の被験者に種々のリズムで100回歩行させ、得られた値の平均値である。この値は片足全体にかかる圧力であり、この値を平均接地足底面積160cm²（著者による実測値）で除すと単位面積（cm²）当りの接地圧が求められる。体重63kgの被験者は平均値で0.323kg/cm²、体重58kgの被験者は0.283kg/cm²、体重48kgの被験者は0.206kg/cm²の接地圧が実験床面=芝生面にかかることが判明した。すなわち、「歩く」ことの芝生面にかかる圧力は体重と著しく相関する（ $r=0.9927$ ）ことも判明した。

VI. 種々の利用行動が芝生に及ぼす損傷度の判定

芝生地でみられる各利用行動を12種類の基本的身体運動に比率分けしたものに、圃場実験で得られた各基本的身体運動の地上部損傷度、土壌硬度増加比を掛け合わせ累計したものが、表—1に示す地上部損傷度ランク値計と土壌硬度増加比計である。これらの数値が大であればあるほど、その行動は芝生に及ぼす損傷度あるいは土壌の固結化をきたす程度が大ということになる。

表—1によれば、「綱引き」「相撲」「ダンス」は極

めて地上部損傷度が高い行動ということになる。次いで「グーチョキパー」「ボール蹴り」「テニス」「二人三脚」「うまつぶし」「ドッジボール」「おしくらべ」「ボール投げ」「かけっこ」「かごめかごめ」「飛行機遊び」「フリスビー」「ゴルフ」「なわとび」などの順位となる。地上部損傷度の観点からいえば、芝生に明らかな損傷を与える「綱引き」「相撲」「ダンス」などは今後、芝生地での禁止行動とすべきであり、前述した「グーチョキパー」以下のものについては、ある程度その利用を制限する必要がある。この他の表-1に示したものについては、その利用を許容しても差し支えないものと判断される。因みに新宿御苑においてはバドミントン、バレーボール、なわとび、フォークダンス、野球などを禁止行動としている。この規制は必ずしも芝生の損傷云々という観点からだけのものではないようであるが、本結果、すなわち芝生に及ぼす損傷度という点から判断すれば、「バドミントン」「バレーボール」については特に禁止行動とする必要はないといえる。

土壌の固結化をきたす土壌硬度増加比の高い行動は前報⁴⁾において主体となる動作によって5分類したD群：走る動作と歩く動作を主とするものの中に多い。(表-1参照)これはD群の利用行動はいずれもそれぞれの利用行動を構成する基本的身体運動のうち、土壌硬度増加比の最も高い「歩く」の占める割合が高いためである。殊に「てんぐるま」は地上部損傷度については全利用行動の中でも最下位のグループにあるが、土壌硬度増加比では他よりも著しく高い値を示す。これは「てんぐるま」を構成する基本的身体運動の9割を「歩く」が占め、また人を背負って歩くため、2人分の加重が芝生面にかかるためである。次いで、土壌硬度増加比が高いのは「かごめかごめ」「はないちもんめ」「二人三脚」「かけっこ」「鳩追ひ」「きしゃあそび」「えんじんおに」「落葉・枝ひろい」で、いずれも他の群の行動より高い増加比を示している。これらは総じて、地上部損傷度が低い場合、その行動を制限することには問題はあがるが、間接的に芝生の衰退を招く、土壌の固結化をきたすのであるから、その取扱いについては十分な検討を要する。中でも「かけっこ」「二人三脚」「かごめかごめ」などは地上部損傷度も比較的高いので尚更である。

運動利用全体の地上部損傷度ランク値計と土壌硬度増加比計との相関関係($r = -0.1915$)はなく、行動の種類によって様々な傾向を示す。特に言えば、地上部損傷度の高い行動は概して土壌の固結化をきたす程度は小であるといえる。

静的利用については、当然のことながら「立つ」「座る」「寝る」などの行動は地上部損傷度も土壌硬度増加比も低く、芝生に及ぼす影響は小である。

三股⁷⁾によれば、人の接地圧を停止時 $0.22\text{kg}/\text{cm}^2$ と

運動時 $0.44\text{kg}/\text{cm}^2$ というように求めている。つまり運動時は、停止時の2倍の接地圧がかかるということである。このことは本研究における静的利用の地上部損傷度ランク値計の平均値20.58と運動利用の平均値41.11とを比べると運動利用は静的利用の約2倍の地上部損傷度となるという結果と対応する。

遊歩については、構成する基本的身体運動の9割が、「歩く」行動なので、地上部損傷度は低い、土壌硬度増加比は著しく高い。したがって、芝生地内の漫然とした遊歩は頻繁となると土壌の固結化の大きな原因となるので、管理上、その取扱いについては十分考慮する必要がある。

VII. 収容力算定のための前提条件

小泉²⁾は環境容量について、3つの考え方があるとしている。本研究においても芝生地の収容力について、3つの考え方を提示する。既報³⁾において著者は収容力について、適正収容力と限界収容力という2つの考え方を提示したが、現実的なレベルでの収容力を考える場合、これらの中間的な収容力の考え方が必要となる。本研究ではそれを標準(経済)収容力と呼び、新たに提起する。

改めて、それぞれの収容力を定義する。

適正収容力：芝生の健全生育を損うことのない収容力。単純踏圧回数でいえば、単位面積当たり1日7回踏みまでが、これに該当する。

標準(経済)収容力：芝生はある程度疲弊するが、決して損傷することなく、最大に利用を許容できる収容力。単純踏圧回数でいえば、単位面積当たり1日10回踏みがこれに該当する。

限界(臨界)収容力：裸地化には至らぬが、明らかに芝生を損傷してしまい、これ以上の回数の踏圧が加わることになれば、裸地化を呈する収容力。つまり、過負荷点(over loadpoint)⁶⁾とも解釈できる。単純踏圧回数でいえば、単位面積当たり1日15回踏みが、これに該当する。

VIII. 収容力の算定

この計算のねらいは、大人の利用者1人当りの芝生地における平均滞留時間内の運動利用、静的利用、遊歩に大別される利用行動の総和、すなわち延踏圧面積で示される平均行動量を把握し、この値を基に適正、標準(経済)、限界のそれぞれの収容力における1人当りの芝生地の所要面積を算定することにある。試算手順については以下に示す要領で行った。

①まず、前報⁴⁾における新宿御苑をケーススタディーとした芝生地における滞留時間調査結果を基に大人1人当りの芝生地での平均滞留時間を109分とし、その内訳を静的利用時間63分、運動利用時間32分、遊歩時間14分とした。平均行動量はこの滞留時間を基礎に利用パター

表一5 運動利用を構成する基本的身体運動の平均比率ならびに各基本的身体運動の
1分間当りの運動距離、動作回数

基 本 的 身 体 運 動	走る	歩く	跳ねる	蹴る	こする	ひねる	つつく	止まる	屈伸	立つ
運動利用全体の基本的身体運動の平均比率	1.80	2.30	0.29	0.27	0.14	0.76	0.09	0.92	0.47	2.94
1人当りの運動利用平均時間 32分を各基本的身体運動に比例配分	(分) 5.76	7.36	0.93	0.86	0.45	2.43	0.29	2.94	1.50	9.41
1分間当りの運動距離・動作回数	m 160	m 62.46	回 50	回 40	回 30	回 30	回 45	回 35	回 35	回 30

ン別に延踏圧面積として、それぞれ算出し、最終的にそれらを累計した。

②遊歩についての行動量の算定

1人当りの平均遊歩時間14分に春山ら¹⁾の研究を基に1分間当りの平均遊歩距離62.46mを乗じ、1人当りの芝生地における延平均遊歩距離を求めた。この値を芝生地における平均歩幅0.55m(実測値)で除し、遊歩に要する歩数を求めた。次に、この値に平均接地足底面積0.016m²を乗じ、平均遊歩時間内における芝生面にかかる延踏圧面積25.44m²を求めた。つまり1人当りの平均遊歩時間内における行動量は1回の踏圧が25.44m²にくまなくかかる量であるということが算出された。以上の過程を計算式で示すと次式の通りである。

$$\begin{aligned} & \text{平均遊歩時間} \times \frac{1 \text{ 分間当りの平均遊歩距離}}{\text{平均遊歩距離}} \div \text{平均歩幅} \times \text{平均接地足底面積} \\ & 14(\text{分}) \quad 62.46(\text{m}) \quad 0.55(\text{m}) \quad 0.016(\text{m}^2) \\ & \quad \quad \quad \text{遊歩における行動量} \\ & \quad \quad \quad \left(\frac{\text{平均遊歩時間内における芝生面にかかる延踏圧面積}}{25.44(\text{m}^2)} \right) \end{aligned}$$

③運動利用についての行動量の算定

前掲の表一1からそれぞれの運動利用の比率分けした各基本的身体運動を累計し、運動利用の全種類数で除し運動利用全体の基本的身体運動の平均比率を求め、この比率から1人当りの平均運動利用時間32分を各基本的身体運動に比例配分し、表一5を作成した。次に表の値を基に基本的身体運動別に行動量を延踏圧面積で、以下の要領で求めた。得られた値を合算して、運動利用全体における行動量、すなわち平均運動利用時間内における芝生面にかかる延踏圧面積を算出した。

イ、「走る」

前述の遊歩の行動量算出の要領と同様の方法で、平均運動利用時間内での平均「走る」時間における芝生面にかかる延踏圧面積を次式によって求めた。

$$\begin{aligned} & \text{平均「走る」時間} \times \frac{1 \text{ 分間当りの「走る」距離}}{\text{「走る」距離}} \div \text{平均走幅} \times \text{平均接地足底面積} \\ & 5.76(\text{分}) \quad 160(\text{m}) \quad 0.8(\text{m}) \quad 0.016(\text{m}^2) \\ & \quad \quad \quad \left(\frac{\text{「走る」における行動量}}{\left(\frac{\text{平均「走る」時間内における芝生面にかかる延踏圧面積}}{18.43(\text{m}^2)} \right)} \right) \end{aligned}$$

「走る」ことにより芝生面にかかる延踏圧面積は18.43m²ということになる。なお、1分間当りの「走る」距離、走幅は芝生地における実測値と種々の文献データ⁹⁾との照合によって決定したものである。

ロ、「歩く」

前出の遊歩の行動量算出と全く同様の要領で、平均運動利用時間内での平均「歩く」時間における芝生面にかかる延踏圧面積を次式によって求め、13.37m²という値を算出した。なお、運動利用の中での「歩く」は通常の歩行とは異なり、遊歩と同様の性格のものであると考え1分間当りの「歩く」距離、歩幅についても遊歩の数値を適用した。

$$\begin{aligned} & \text{平均「歩く」時間} \times \frac{1 \text{ 分間当りの「歩く」距離}}{\text{「歩く」距離}} \div \text{平均歩幅} \times \text{平均接地足底面積} \\ & 7.36(\text{分}) \quad 62.46(\text{m}) \quad 0.55(\text{m}) \quad 0.016(\text{m}^2) \\ & \quad \quad \quad \left(\frac{\text{「歩く」における行動量}}{\left(\frac{\text{平均「歩く」時間内における芝生面にかかる延踏圧面積}}{13.37(\text{m}^2)} \right)} \right) \end{aligned}$$

ハ、その他

「跳ねる」「蹴る」「こする」「ひねる」「つつく」「止まる」「屈伸する」「立つ」については「走る」「歩く」などとは異なり、その動作の性格によって1分間当りの平均距離を求めることが困難である。したがって、これらについては1分間当りの動作回数を求め、算出の根拠とした。(表一5参照)さらに本研究は「歩く」の延踏圧面積で行動量を算出しようとするものであるため各基本的身体運動の「歩く」に対する地上部損傷度比率を乗じ、「跳ねる」「蹴る」などの行動量も「歩く」の延踏圧面積の行事量に換算した。算定公式は、以下に示す。

$$\text{基本的身体運動時間} \times \frac{1 \text{ 分間当りの動作回数}}{\text{動作回数}} \times \text{平均接地足底面積}$$

$$\times \frac{\text{基本的身体運動の地上部損傷度}}{\text{「歩く」の地上部損傷度}} = \frac{\text{平均基本的身体時間内における芝生面にかかる延踏圧面積}}{\text{延踏圧面積}}$$

「跳ねる」などについては上記の式に則り、芝生面にかかる延踏圧面積を算出した。以下、それぞれの計算結果と基本的身体運動の種類によって、芝生面に接地する足底面積は異なるので、この点についてのみ記述する。

・「跳ねる」

動作に伴い、芝生面に接地する足底面積を両足 0.032 m²とし、算定した。

$$0.93(\text{分}) \times 50(\text{回}) \times 0.032(\text{m}^2) \times \frac{3.3}{2.9} = 1.70\text{m}^2$$

すなわち「跳ねる」ことによる芝生面にかかる延踏圧面積は1.70 m²ということになる。

・「こする」

この動作は足底が固定されず、動作に伴い移動するため、実態調査とモデル実験とによって 0.08m²とした。

$$0.45(\text{分}) \times 30(\text{回}) \times 0.08(\text{m}^2) \times \frac{6.9}{2.9} = 2.57\text{m}^2$$

・「蹴る」

芝生面に接地する足底面積を片足分0.016m²とし、算定した。

$$0.86(\text{分}) \times 40(\text{回}) \times 0.016(\text{m}^2) \times \frac{10.0}{2.9} = 1.90\text{m}^2$$

・「ひねる」

この動作も足底が固定されず、動作に伴い移動するため、実態調査とモデル実験とによって、芝生面に接地する足底面積を 0.094m²とした。

$$2.43(\text{分}) \times 30(\text{回}) \times 0.094(\text{m}^2) \times \frac{9.8}{2.9} = 23.16\text{m}^2$$

・「つつく」

この動作によって足底全体が接地することなく、足底面積の 1/2 強程度が接地することをモデル実験によって確認し、9.01m²とした。

$$0.29(\text{分}) \times 45(\text{回}) \times 0.01(\text{m}^2) \times \frac{10.0}{2.9} = 0.45\text{m}^2$$

・「止まる」

芝生面に接地する足底面積を両足分0.032m²とした。

$$2.94(\text{分}) \times 35(\text{回}) \times 0.032(\text{m}^2) \times \frac{10.0}{2.9} = 11.36\text{m}^2$$

・「屈伸する」

芝生面に接地する足底面積を両足分0.032m²とした。

$$1.50(\text{分}) \times 35(\text{回}) \times 0.032(\text{m}^2) \times \frac{2.5}{2.9} = 1.44\text{m}^2$$

・「立つ」

芝生面に接地する足底面積を両足分 0.032 m²とした。

$$9.41(\text{分}) \times 30(\text{回}) \times 0.032(\text{m}^2) \times \frac{2.0}{2.9} = 6.23\text{m}^2$$

以上、運動利用についての行動量を把握するために基本的身体運動別に、芝生面にかかる延踏圧面積を算出した。これらを合算すると「走る」18.43m²、「歩く」13.37m²、「跳ねる」1.70m²、「こする」2.57m²、「蹴る」1.90m²、「ひねる」23.16m²、「つつく」0.45m²、「止まる」11.36m²、「屈伸する」1.44m²、「立つ」6.23m²、計 80.61m²となる。すなわち1人当りの平均運動利用時間に要する行動量は1回の踏圧が80.61m²にくま

くかかる量であるということになる。

④静的利用についての行動量の算定

静的利用については遊歩あるいは運動利用と異って、可動性がないため、1分間における可動距離だとか動作回数で行動量を算定できないので、以下のような操作を行い、運動利用と同様に延踏圧面積で、行動量を算定した。

つまり、静的利用は「座る」を代表として考え、平均静的利用時間内にかかる「座る」ことによる接地面積を延踏圧面積として換算し、求めた。この場合、「座る」行動は便宜的に2秒間に1回、芝生面に圧力がかかると想定した。換言すれば、「座る」の動作回数を1分間に30回とした。接地面積は座った時、尻部が芝生面に接する面積0.03m²、その時同時に足底面積の1/4程度が接すると算定し、計 0.039m²とした。

計算手順は1人当りの平均静的利用時間63分に1分間当りの動作量（動作回数30回×接地面積0.039m²）を乗じ、さらに「座る」ことにより接地する延面積を延踏圧面積に換算するために「歩く」に対する「座る」の地上部損傷度比率を乗じ、平均静的利用時間内に芝生面にかかる延踏圧面積 50.86m²を求めた。すなわち1人当りの平均静的利用時間に要する行動量は、1回の踏圧が、50.86m²にくまなくかかる量であるということになる。以上の過程を計算式で示す次の通りである。

$$\begin{array}{l} \text{平均静的利用時間} \times \frac{1 \text{ 分間当り}}{\text{の動作回数}} \times \text{平均接地面積} \\ \begin{array}{ccc} 63(\text{分}) & 30(\text{回}) & 0.039(\text{m}^2) \end{array} \\ \frac{\text{「座る」の地上部損傷度}}{\text{「歩く」の地上部損傷度}} = \frac{\text{静的利用における行動量}}{\left(\frac{\text{平均静的利用時間内に}}{\text{における芝生面にかかる}} \right)} \\ \begin{array}{ccc} 2.0 & & 50.86\text{m}^2 \\ 2.9 & & \text{延踏圧面積} \end{array} \end{array}$$

⑤結論

以上、利用パターン別に芝生地における1人当りの平均行動量を求めたわけである。得られた値は遊歩における行動量 25.44m²、運動利用における行動量80.61m²、静的利用における行動量 50.86m²である。これらを合算すると1人当りの芝生地における平均行動量は1回の踏圧が 156.91m²にくまなくかかる量であるということが算定される。いうなれば、1人当りのこの平均行動量は踏圧回数×延踏圧面積=156.91m²という計算式で表わすことができる。したがって、同一場所にかかる踏圧回数を2回、3回と漸増させて考えれば、それに対応する延踏圧面積は1/2、1/3と漸減するわけである。そこでこの値を適正、標準、限界収容力とした踏圧回数7、10、15回で除すると、それぞれに対応する延踏圧面積が次のように求められる。

$$156.91(\text{m}^2) \div 7(\text{回}) = 22.41(\text{m}^2)$$

$$156.91(\text{m}^2) \div 10(\text{回}) = 15.69(\text{m}^2)$$

$$156.91(\text{m}^2) \div 15(\text{回}) = 10.46(\text{m}^2)$$

すなわち、これらの値が本研究の結論ともいえる適正標準、限界のそれぞれの収容力の概念での1人当りの芝生地の所要面積ということになる。つまり、単純踏圧回数を根拠とした適正収容力における芝生地の所要面積は、 $22.41\text{m}^2/\text{人}$ 、標準収容力は $15.69\text{m}^2/\text{人}$ 、限界収容力は $10.46\text{m}^2/\text{人}$ となる。これらの数値は1人の利用者をそれぞれの収容力の概念で、利用させるに必要な面積という意味での値である。観点を変え、単位面積当りそれぞれの収容力の概念で、収容できる利用者の人数という逆値で表わすと、適正収容力 $0.045\text{人}/\text{m}^2$ 、標準収容力 $0.064\text{人}/\text{m}^2$ 、限界収容力 $0.096\text{人}/\text{m}^2$ という値（密度）が求められる。

改めて、得られた数値の意味を概説すると、通常の下管理下の芝生において、1人当り芝生地を 22.41m^2 以上確保できれば、あるいは芝生地 1m^2 当りの入込者数を、 0.045 人以下に抑えることができれば全く芝生の健全生育を損うことなく、芝生を維持できる。また、1人当り 15.69m^2 以上の芝生地が確保できるか、 1m^2 当りの入込者数を $0.064\text{人}/\text{m}^2$ 以下に抑えることができれば、芝生はある程度、疲弊しても損傷することはない。さらに芝生を裸地化させないためには1人当り、最低 10.46m^2 の芝生地が確保されなければならないか、あるいは、 1m^2 当りの入込者数を $0.096\text{人}/\text{m}^2$ 以下に抑えなければならないということである。

以上の数値は大人を基準として算出したものであり、次に小人を対象とした収容力を求める。小人についての収容力の算定も前報⁴⁾で得られた芝生地での平均滞留時間89分、その内訳、静的利用時間39分、運動利用時間23分、遊歩時間27分を基に大人と同様の前述した算定公式にあてはめて行った。なお、大人と比べると単位時間当りの運動量ならびに動作の強さについては著しく差があることと、また、前述した「歩く」動作の場合は、芝生面にかかる圧力は体重に比例するということから、それぞれの公式で得られた値に $2/5$ （大人の平均体重50kg、小人の平均体重20kgに想定した時の体重比）を乗じ、算定公式そのものを小人用に変換する操作を行った。

以上の結果、小人を対象とした適正収容力は $7.92\text{m}^2/\text{人}$ 、 $0.13\text{人}/\text{m}^2$ 、標準収容力は $5.54\text{m}^2/\text{人}$ 、 $0.18\text{人}/\text{m}^2$ 、限界収容力は $3.69\text{m}^2/\text{人}$ 、 $0.27\text{人}/\text{m}^2$ という数値が求められた。

なお、本研究においては芝生地の収容力を3つの考え方で考察してきたが、その中でも現実的な立場からは、芝生を損傷することなく、利用を最大に許容させるといふ標準（経済）収容力が基調となることは先述した。したがって大人を対象とした場合の $15.69\text{m}^2/\text{人}$ 、 $0.064\text{人}/\text{m}^2$ あるいは小人を対象とした場合の $5.54\text{m}^2/\text{人}$ 、 $0.18\text{人}/\text{m}^2$ という数値が芝生地の収容力の算定根拠、すなわち、

表一6 新宿御苑芝生地における利用者数⁴⁾

（小人を大人の0.4人分として換算し、合計した人数）

調査日	曜日	芝生地利用者数	調査日	曜日	芝生地利用者数
4/11	日	13,964	8/27	金	719
13	火	764	28	土	737
16	金	2,973	9/5	日	4,698
24	土	2,019	7	火	683
5/2	日	9,532	19	日	5,935
11	火	2,250	21	火	313
16	日	6,591	10/3	日	3,772
21	金	562	5	火	841
6/4	金	1,602	19	火	1,564
13	日	5,291	11/5	金	389
22	水	800	6	土	261
27	日	4,657	24	水	413
7/4	日	4,321	28	日	3,970
25	日	1,812	12/5	日	1,888
27	火	412	7	火	137
8/11	水	608	12	日	1,315
21	土	1,029	15	水	742

注）新宿御苑調査対象芝生地の

適正収容力 2,070人（4/11のみ2,491人）

標準収容力 2,957人（ ” 3,558人）

限界収容力 4,435人（ ” 5,336人）

芝生地の利用規制あるいは芝生地の計画面積策定等の基本数値となりうるものとする。

IX. 収容力からみた新宿御苑芝生地の利用実態の解析

本調査結果の結論として得られた収容力の値を前報⁴⁾の利用実態調査結果と照合することによって、大人を基準とした新宿御苑芝生地の利用状況の解析を試みる。

前報⁴⁾で調査対象とした芝生地面積 $46,395\text{m}^2$ （4/11のみ $55,819\text{m}^2$ ）を利用者が均等に分散して利用すると仮定して、限界収容力 $10.46\text{m}^2/\text{人}$ で除すると $4,435\text{人}$ （4/11のみ $5,336\text{人}$ ）、標準収容力 $15.69\text{m}^2/\text{人}$ で除すると $2,957\text{人}$ （ $3,558\text{人}$ ）、適正収容力 $22.41\text{m}^2/\text{人}$ で除すると $2,070\text{人}$ （ $2,491\text{人}$ ）がそれぞれの収容力の概念における相当人数ということになる。

この値を前報⁴⁾で得られた芝生地利用者数と照合すると次の様な知見が認められる。（表一6参照）なお、表一6は前報において大人と小人とを別々に集計した利用実態調査結果を小人を大人の0.4人分（ $\frac{\text{小人の平均体重}20\text{kg}}{\text{大人の平均体重}50\text{kg}} = 0.4$ ）として換算し、合算したものである。表一6によれば、 $4 \cdot 5 \cdot 6$ あるいは9月の日曜日においては、明らかに限界収容力を越える入込者数があったことが認められる。しかも4月あるいは5月上旬の日曜日の利用

者数は限界収容力の2倍以上の入込者数があったことになる。これらの日以外は、限界収容力を越える日はない。また、平日においては標準収容力を越える日はほとんどなく、大体において適正収容力以下である。適正収容力を越えたのは前述した4・5・6あるいは9月の日曜日以外では7・10・11月の日曜日のみであった。すなわち、日曜日には真夏季と厳寒季を除き、他の月はいずれも、標準収容力以上の入込者数があったことになる。

したがって、新宿御苑芝生地においては、真夏季と厳寒季以外の日曜日、特に4・5月の利用のコントロールを何らかの方法で実施することが、芝生の健全さを維持するための要件となる。1日だけ限界収容力を越えたからといっても直ちに芝生の裸地化につながるとはいえないが、4・5月の過剰利用は芝生にとっては芽出しの時期でもあり、芝生に与える損傷は甚大なものであり、この時期の利用の適正化は重要な意味をもつ。因みに新宿御苑全体の芝生地153,954m²の収容力を求めると、限界収容力14,718人、標準収容力9,812人、適正収容力6,870人という値が得られる。

X. お わ り に

本報で得られた値は、あくまでも新宿御苑芝生地をケーススタディーとして求めたものであって、芝生地の収容力の値として、絶対的なものであるとはいえない。何故ならば、芝生地の収容力は厳密に言えば、芝生地の性格、状態、利用傾向によって決定されるものであり、唯一絶対のものは考えられないからである。しかしながら本報で得られた値は芝生地の収容力を決定するための一応の目安となることはいうまでもない。

今後、本研究で得られた基礎的数値、算定手順を活用し、他の公園等の芝生地の収容力も算定していく所存である。つまり、それぞれの芝生地における運動利用、静的利用、遊歩の利用パターン別の平均的な滞留時間さえ把握できれば、収容力の算定は可能であるといえる。

(1979.6.21受付 1979.8.22受理)

参 考 文 献

- 1) 春山国広・大鋸 順：各種条件による歩行速度の特徴，昭和51年度日本体育学会要旨集，277，1976
- 2) 小泉清明他著：生物科学講座8 集団と生態，朝倉書店，東京，292-293，1977
- 3) 近藤三雄・小沢知雄：芝生地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地の植群の抵抗性からみた収容力について——，造園雑誌40(3)，11-23，1977

- 4) 近藤三雄・安藤成子・小沢知雄：芝生地の収容力に関する基礎的研究(II)——新宿御苑をケーススタディーとした芝生地の利用実態調査について——造園雑誌43(1)，12-19，1979
- 5) Marion R. Broer：EFFICIENCY OF HUMAN MOVEMENT，W. B. Sanders Company，Philadelphia，1960
宮畑虎彦訳：身体運動の力学，ベースボールマガジン社，東京，89-335，1964
- 6) 未来工学研究所編：有限な地球と科学技術，サイマル出版会，東京，4，1974
- 7) 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，77，129，1970
- 8) 中島海編：遊戯大事典，不昧堂，東京，1968
- 9) 日本建築学会編：建築設計資料集成—1，丸善，東京，42，1972

Summary

The purpose of this paper is to calculate the carrying capacity of lawns-area based on the behaviour of the users and extent of the damage to a turf. A conclusion of the results is shown below.

It was cleared that an average behaviour volume was equal to a user tramped all over lawns of about 156.9m².

It was calculated that the optimum carrying capacity was 22.41m² per person (0.045 person per m²), the standard carrying capacity was 15.09m² of lawns per person (0.064 person per m²), the critical carrying capacity was 10.46m² of lawns per person (0.096 person per m²) in case of grow-up person.

These values were converted into as follows in case of children, that the optimum carrying capacity was 7.92m² of lawns per person (0.13 person per m²), the standard carrying capacity was 5.54m² of lawns per person (0.18 person per m²), the critical carrying capacity was 3.69m² of lawns per person (0.27 person per m²).