

水理実験センター草原生態系における主要植物種の 現存量の季節変化とその生態学的解析

Ecological analysis of seasonal above-ground biomass changes of main plant species in an experimental grassland at the ERC, Univ. of Tsukuba.

赤沢 孝之*・及川 武久**

Takayuki AKAZAWA* and Takehisa OIKAWA**

I. はじめに

光合成における炭素固定経路の違いから、陸上植物はC3植物、C4植物、CAM植物に分けられる。C4植物はC3植物に比べて高温、乾燥に耐性があり、アメリカ合衆国では気温の高い低緯度地方ほどC4植物の種数が増加すること(Teeri and Stowe, 1976)や、オーストラリアでは、C4植物は砂漠などの乾燥地に偏った分布をしていること(Hattersley, 1983)が知られている。また、ハンガリー盆地の草原では、夏季にC4植物の種数がC3植物の種数を追い越すことが知られている(Kalapos, 1991)。日本でも、イネ科雑草の分布は、低緯度地方に向うほどC4植物の割合が増加していくこと(武田ら, 1985)から、C4植物の分布は、気温との相関が高いことが知られている。しかしこれらの研究はその緯度や、その季節に出現する種数の変化を調べたものであり、特に日本では現存量の季節変化は調べられていない。

現在、CO₂、CH₄、CFC_s、N₂Oなどを中心とする温室効果ガスの増加による地球の温暖化が大きな問

題となっているが、CO₂濃度の増加は植物にとって、他の温室効果ガスにない重要な性質を持つ。もしCO₂以外のガスのみによって温暖化が進んだ場合、単純に乾燥地域が拡大し、高温・乾燥に適したC4植物やCAM植物が分布範囲を広げると考えられる。すなわち、乾燥化が進んで現在森林が分布している地域で森林が維持できなくなり、新たにサバナのようなC4植物を中心とする草原へと変化する可能性が高いと考えられる。むろん植生の成立は気象条件だけでなく、土壌や地形、人為的影響、動物との相互作用等、さまざまな要因に影響されるが、現在のC4植物の分布に関する限り、気温や降水量との相関がもっとも高い。ところが、C4植物は新生代以降の低いCO₂濃度に適応して進化してきた植物群であり、現在のCO₂濃度の増加による温暖化はC4植物にとって必ずしも有利ではない。温室効果ガスの国際的な排出規制により、各ガスの温室効果への寄与率が少しずつ変化する可能性もあるが、CO₂と非CO₂のどちらの温室効果ガスが温暖化に大きな役割を果たすかが、今後の植生の変化を決める重要な鍵を握っているだろう。

*筑波大学生物学類 **筑波大学生物科学系

Liu (1993) の調査結果より、筑波大学の水理実験センターの草原では、気温が低い春～初夏にかけては、イネ科のヒロハウシノケグサ (*Festuca elatior*) を中心とする C3 植物の現存量が多いが、梅雨明けごろから、同じイネ科でも C4 植物のチガヤ (*Imperata cylindrica*) やメリケンカルカヤ (*Andropogon virginicus*) などの現存量が増加し、C3 植物の現存量を追い越すことが明らかとなった。この現象が起こる原因は、夏季の高温乾燥状態が C4 植物の生育を促進し、C3 植物の生育を抑制したためと考えられる。植物は乾燥時には蒸散による水分の損失を防ぐため気孔を閉じるが、これは光合成に必要な CO₂ 交換も同時に制限してしまう。このため C3 植物では乾燥時の CO₂ 固定量が低下し、成長が低下する。ところが C4 植物は CO₂ を固定する酵素である PEP カルボキシラーゼの親和力が、C3 植物の固定酵素である RuBP カルボキシラーゼ (Rubisco) よりもはるかに高いために、C4 植物は気孔をある程度閉じていても光合成は余り低下しないのである。このことから、夏季の乾燥の強さが C3 植物と C4 植物の成長と、それに伴う現存量の比率を決める重要な環境要因であると考えられる。

II. 目的

C3 植物と C4 植物の現存量の年次変化や季節変化と気象条件との関係を生理生態学的に調べることで、温暖化によって起こる将来の植生の変化を予測する基礎資料を得る。

III. 方法

(1) 現存量調査

水理実験センターの実験圃場は直径が160 mの円形をしている。ここに東西・南北両方向に1 m×1 mのコドラートを640個設置し、植生の被度調査を通常は月1回、夏季乾燥時には20日に1回行った。また、被度調査の後、地上部現存量を求めるために50 cm×50 cmのサブコドラートをその近くに5個程度設置し、その被度調査をした後に刈り取り調査を行った。このサブコドラートにおける被度と現存量の間の回帰式を求め、これを用いて草原全体の種ご

との地上部現存量の季節変化を推定した。また、劉・及川 (1992) 及び Liu (1993) の植生調査結果と1994年の結果をまとめて、1992年から1994年にかけての草原構成種の年次変化を調べた。

(2) 灌水実験

夏季の乾燥が C3 植物と C4 植物の成長にどの程度影響を及ぼすかを調べるために灌水実験を行った。1992年の植生調査結果から、この草原の C3 植物の代表としてはヒロハウシノケグサ、C4 植物の代表としてはチガヤを選び、それぞれの種が優占する場所と、両種が混在する場所に50 cm×50 cmのコドラートを10個ずつ設置して、そのうち5個を灌水区、残りの5個を対照区とした。灌水区に対しては、リーキーパイプ (硬いスポンジ様材質のパイプで、水が漏れるようになっている) を灌水区コドラートの中央に走らせ、これと水道との間にタイマー付きの電磁弁をつないで、7月1日以降毎朝7時から30分間自動的に散水した (4.2 mm/日の降水に相当する)。灌水区と対照区は3~5 m離れているので、対照区に灌水区の水の影響はほとんど無い。そして、この灌水実験区でも7~14日に一度被度調査を行い、(1)で求めた被度と現存量との回帰式から現存量を推定し、夏季乾燥時の C3 植物と C4 植物の成長を比較した。

IV. 結果

(1) 現存量の季節変化

図1は水理実験センターで観測された1994年4月~10月の月平均気温、月積算降水量と可能蒸発散量 (計算値)、平均地下水位である。93年は記録的な冷夏で、7、8月の平均気温は、平年のそれより約2℃低かった。それとは対照的に94年は記録的な猛暑で、6月は平年並だったが7、8月の平均気温は平年より2.5℃高かった (図1-a 参照)。降水量は7月は雷雨が多かったために平年より多かったが、6月と8月は平年の1/2程度で、6~8月の全降水量は平年の80%弱だった (図1-b 参照)。各月の可能蒸発散量 PE (cm/month) は次の式で求められる (Thorntwaite, 1948)。

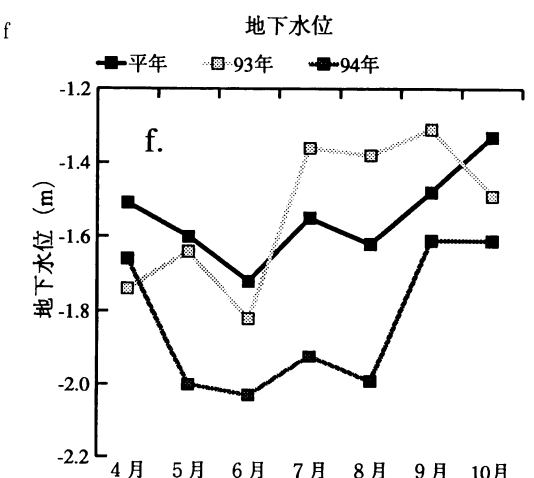
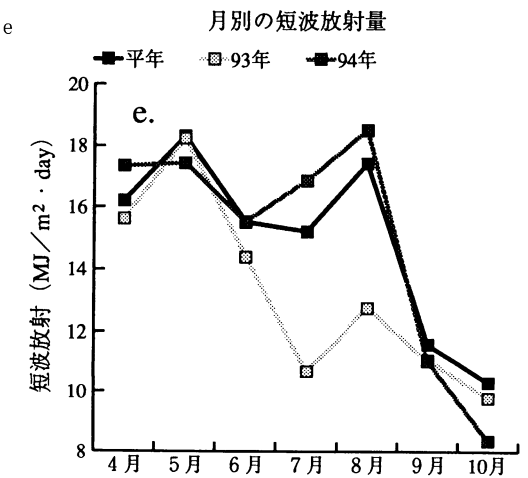
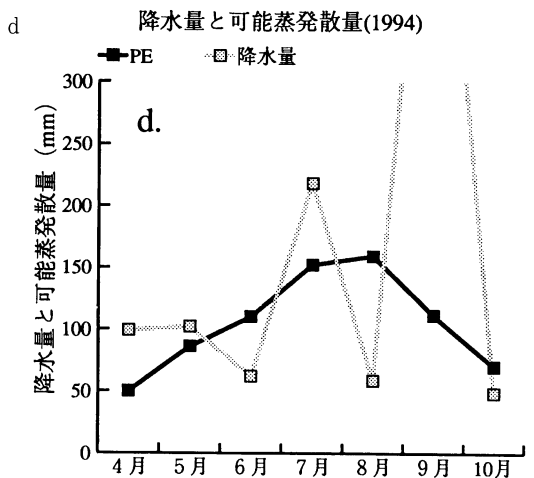
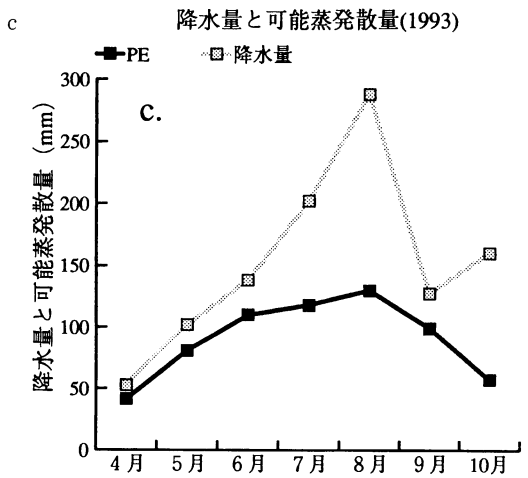
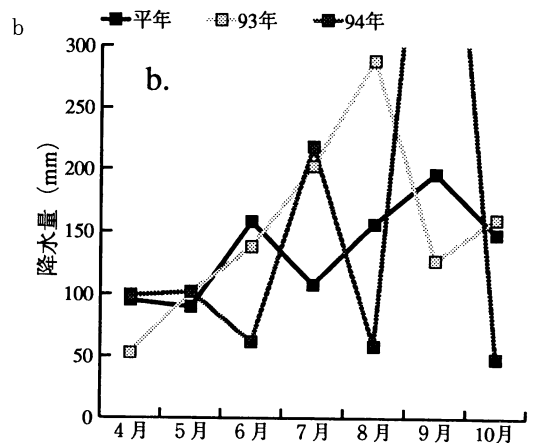
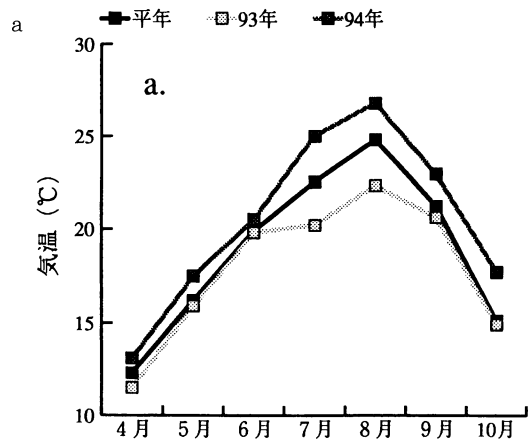


図1. 水理実験センターで観測された各種気象要素. 平年値は1981~1990年の平均値.

$$PE = 1.6L (10 \times T/I)^a$$

ただし

L = 緯度による日長時間補正項

T = 月平均気温 (°C)

I = 年間熱指数

a = Iによって決まる定数

PEと降水量との比較により、その月の乾燥の厳しさが示される。冷夏で多雨だった93年は夏季を通して降水量が可能蒸発散量を上回ったが(図1-c参照)、猛暑で少雨となった94年は6月と8月で降水量が可能蒸発散量の約半分だった(図1-d参照)。94年の夏季乾燥が93年と比べて非常に厳しかったと言える。短波放射は、93年の7、8月が悪天候のために平年の約1/2程度の10~12MJ/m²・dayだったのに対し、94年は10%程度多くなった(図1-e参照)。地下水位は、93年の5、6月は平年並みの-1.7m程度だったが、7月から9月にかけては平年より0.2m高く-1.4mまで上昇した。一方、94年は、5月の時点で既に平年より0.4m程低い-2.0mを記録し、以降8月までこの差を保ちながら、季節変化を示した。これは94年の夏の降水量が少なく、土壌が乾燥したことを示す。ただし、9月の雷雨による大雨によって-1.6mにまで回復した(図1-f参照)。

温帯湿潤気候の関東地方では、放置された裸地は一般的に草本の侵入→木本の侵入→森林の形成という植生遷移が起こる。実験に用いた水理実験センターの圃場は1978年と1987年に緑化工事が行われ、1992年までヒロハウシノケグサを中心とする草地を維持するために、草刈りが年2回なされていたが、1993年以降は冬に一度刈り取りが行われるだけになっていて、木本植物は除去されているが、草本が周辺部から盛んに侵入している段階である。したがって年ごとにその構成種の組成や量的な関係が少しずつ変化している。

1992年から1994年にかけての植生調査結果をまとめると、表1のようになる。1992年は劉・及川(1992)、1993年はLiu(1993)の調査結果による。C3植物とC4植物の判別は、奥田・古川(1990)による分類表を基にした。1992年にこの草原で確認

された植物は21種、そのうちC4植物は5種(24%)であったが、1993年には30種、うちC4植物は8種(27%)、1994年には46種、うちC4植物は9種(19%)であった。年ごとに種数が増加しているが、そのほとんどはC3植物である。侵入したC4植物は1993年まではすべて単子葉植物のイネ科のみだったが、1994年には双子葉植物のスベリヒユが見られた。1992年に見られたヒロハウシノケグサ以外の植物はネコハギのような匍匐性の植物や、メリケンカルカヤ、チドメグサ、ミツバツチグリといった比較的小型の植物で占められていたが、1994年にはチガヤ、メドハギ、ススキといった大型多年草が多く見られるようになった。

表2は主な種の地上部現存量が最大になった月の現存量を1993年と1994年で比較したものである。これらの種のフェノロジーや特徴は、表3に示されている。表2から、ヒロハウシノケグサ(クリーピンググラス)やカモガヤ(オーチャードグラス)といった寒地型牧草が少しずつ減少し、周辺部から侵入してきた種が増加していることが分かる。侵入種の中でも増加量が最も多いのはチガヤ、メリケンカルカヤ(ともにC4植物)、メドハギ(C3植物)であった。増加率が高かった種はメドハギ(C3植物)が3.3倍、ススキ(C4植物)が3.4倍、セイタカアワダチソウ(C3植物)が1.8倍であった。

1993年と1994年の現存量の季節変化が図2-a,bに示されている(1993年は、Liu(1993)の調査結果による)。種数的には少ないC4植物が量的には非常に多く、また、夏季にC4植物の現存量がC3植物の現存量を追い越すという現象は両年に共通して見られた。このC4植物が追い越す時期を比較すると、猛暑であった94年は冷夏であった93年より約1カ月早い7月上旬だった(図2-a参照)。94年では7、8月にC4植物の現存量は大きく増加したが、C3植物の現存量はほとんど増加しなかった。9月になってC3植物は再び増加し、全体の約40%となった(図2-b参照)。

表4は、94年の主要種の葉面積指数(LAI)の季節変化をまとめたものである。C3植物は6月で最大の1.5となったが、その後7月から8月にかけて

表1. 1992年から94年にかけての、水理実験センター圃場の植物種の出現状況の変化

双子葉植物

科	和名	学名	C3/C4	花期	1992	1993	1994
キク科	ハハコグサ	<i>Gnapharium affine</i>	C3	4~6	-	+	+
	チチコグサ	<i>Gnapharium japonicum</i>	C3	5~10	+	+	+
	ブタクサ	<i>Ambrosia artemisiaefolia</i>	C3	7~10	-	-	+
	セイタカアワダチソウ	<i>Solidago altissima</i>	C3	9~11	+	+	+
	ヒメジオン	<i>Erigeron annuus</i>	C3	6~8	+	+	+
	マーガレット	? (so called Margaret)	C3	5~7	-	-	+
	ヨモギ	<i>Artemisia princeps</i>	C3	9~10	-	+	+
	ブタナ	<i>Hypochoeris radicata</i>	C3	6~10	+	+	+
	ニガナ	<i>Ixeris dentata</i>	C3	5~7	-	-	+
	オオバコ科	ヘラオオバコ	<i>Plantago lanceolata</i>	C3	6~7	+	+
ゴマノハグサ科	ムラサキサギゴケ	<i>Mazus miquelii</i>	C3	4~6	-	-	+
サクランウ科	オカトラノオ	<i>Lysimachia clethroides</i>	C3	6~7	-	+	+
	コナスビ	<i>Lysimachia japonica</i>	C3	5~6	+	+	+
セリ科	チドメグサ	<i>Hydrocotyle sibthorpioides</i>	C3	4~10	+	+	+
アザミ科	アキノトウグサ	<i>Haroragis micrantha</i>	C3	7~9	+	+	+
アカバナ科	メマツヨイグサ	<i>Oenothera biennis</i>	C3	7~9	-	+	+
オトギリソウ科	オトギリソウ	<i>Hypericum erectum</i>	C3	7~9	-	-	+
マメ科	ヤハズソウ	<i>Kummerovia striata</i>	C3	8~9	+	+	+
	メドハギ	<i>Lespedeza cuneata</i>	C3	9~10	+	+	+
	ネコハギ	<i>Lespedeza pilosa</i>	C3	8~10	+	+	+
	カラスノエンドウ	<i>Vicia sativa</i>	C3	4~5	+	+	-
	ノアズキ	<i>Dunbaria villosa</i>	C3	8~9	-	-	+
	クズ	<i>Pueraria lobata</i>	C3	7~9	-	-	+
	ムラサキツメクサ	<i>Trifolium pratense</i>	C3	5~10	-	-	+
	シロツメクサ	<i>Trifolium repense</i>	C3	5~10	-	-	+
	カワラケツメイ	<i>Cassia nomame</i>	C3	8~10	-	-	+
	バラ科	キジムシロ	<i>Potentilla fragarioides</i>	C3	4~5	-	-
ミツバツチグリ		<i>Potentilla freyniana</i>	C3	4~5	-	+	+
スベリヒユ科	スベリヒユ	<i>Portulaca oleracea</i>	C4	7~9	-	-	+
タデ科	スイバ	<i>Rumex acetosa</i>	C3	5~8	-	-	+
	ヒメスイバ	<i>Rumex acetosella</i>	C3	5~8	-	-	+
	イタドリ	<i>Polygonum sachalinense</i>	C3	7~10	-	-	+

単子葉植物

科	和名	学名	C3/C4	花期	1992	1993	1994
ラン科	ネジバナ	<i>Spiranthes sinensis</i>	C3	5~9	+	+	+
イグサ科	スズメノヤリ	<i>Luzula capitata</i>	C3	4~5	-	-	+
カヤツリグサ科	カヤツリグサ(?)	<i>Cyperus sp.</i>	C3	8~10	-	-	+
イネ科	カモガヤ	<i>Dactylis glomerata</i>	C3	7~8	+	+	+
	シナダレスズメガヤ	<i>Eragrostis curvula</i>	C4	8~10	-	+	+
	カゼクサ	<i>Eragrostis ferruginea</i>	C4	8~10	+	+	+
	イヌビエ	<i>Echinochloa crusgalli</i>	C4	8~10	+	+	-
	ハルガヤ	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	C3	5~7	+	+	-
	ヒロハウシノケグサ	<i>Festuca elatior</i>	C3	5~6	+	+	+
	シバ	<i>Zoysia japonica</i>	C4	5~6	-	-	+
	メヒシバ	<i>Digitaria ciliaris</i>	C4	8~10	+	+	+
	子ガヤ	<i>Imperata cylindrica</i>	C4	4~6	+	+	+
	ススキ	<i>Miscanthus sinensis</i>	C4	7~10	-	+	+
	メリケンカルカヤ	<i>Andropogon virginicus</i>	C4	8~10	+	+	+

シダ植物

科	和名	学名	C3/C4	花期	1992	1993	1994
トクサ科	スギナ	<i>Equisetum arvense</i>	C3		+	+	+

+: 存在が確認された種

-: 存在が確認されなかった種

表2. 93年から94年の最大地上部現存量 (g d.w./m²) の変化

順位	種名	最大月	Wmax-93	Wmax-94	現存量の差	増加率 (%)
1	メドハギ	9	30.1	100.1	70.1	333.1
2	チガヤ	9	152.4	205.4	53.0	134.7
3	セイタカアワダチソウ	9	23.1	41.0	17.9	177.8
4	ススキ	9	7.3	24.8	17.5	339.5
5	メリケンカルカヤ	9	97.0	107.8	10.9	111.2
6	ネコハギ	7	13.3	21.5	8.3	162.2
7	スギナ	6	25.1	28.4	3.3	113.0
8	ヨモギ	9	12.4	15.0	2.6	121.2
-2	カモガヤ	7	7.8	2.6	-5.1	33.8
-1	ヒロハウシノケグサ	6	96.8	72.7	-24.1	75.1

表3. 主な植物種の生態的特徴

植物名	発芽	花期	結実	枯死	C3/C4	高さ (m)	生活型	分布	特徴	
チガヤ	5	5~6	6	10	C4	0.8~1.5	多年草	日本全土・朝鮮・台湾・中国・アジア温帯	寒地型牧草	
メリケンカルカヤ	5	9	9	10	C4	0.3~1.0	多年草	燻化植物：北アメリカ原産		
メドハギ	5	9~10	10	10	C3	0.5~2.3	多年草	日本全土・中国・台湾・インド・豪州		
ヒロハウシノケグサ	3	5~6	6	11	C3	0.5~1.2	多年草	燻化植物：ヨーロッパ原産		
セイタカアワダチソウ	4	9	9~10	10	C3	1.5~2.5	多年草	燻化植物：北アメリカ原産		
スギナ	4	3	3	7	C3	0.1~0.3	多年草	日本全土・北半球の温帯~寒帯		
ススキ	5	8~9	9~10	10	C4	1.8~2.5	多年草	日本全土・中国・台湾・千島南部		
ネコハギ	5	7~9	9	10	C3	0.1~0.2	多年草	日本全土・中国・台湾		匍匐性
ヨモギ	4	9	10	10	C3	1.2~1.8	多年草	本・四・九・朝鮮		
カモガヤ	4	5	6	7	C3	0.5~1.2	多年草	燻化植物：ヨーロッパ原産		寒地型牧草

発芽、開花、結実、枯死は、水理実験センターのデータ。
C3/C4は奥田、古川(1990)による。
分布は日本植物生態図鑑による。

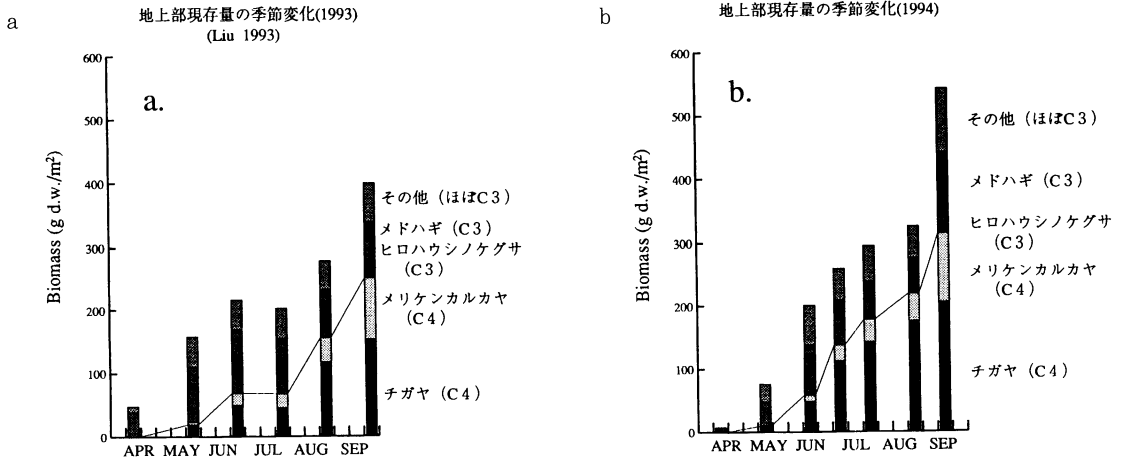


図2. 1993年と1994年の地上部現存量 (Biomass) の季節変化。
夏季にC4植物の現存量がC3植物の現存量を追い越す。

表4. 1994年の植物種別の葉面積指数 (LAI) の季節変化.

調査日	4/14	5/15	6/23	7/4	7/28	8/20	9/16	11/2
チガヤ	0.00	0.05	0.28	1.00	1.51	2.29	2.89	2.05
ヒロハウシノケグサ	0.06	0.32	0.90	0.50	0.33	0.16	0.32	0.37
メリケンカルカヤ	0.00	0.01	0.09	0.35	0.32	0.37	0.63	0.75
ヨモギ	0.01	0.06	0.06	0.14	0.09	0.11	0.18	0.07
メドハギ	0.00	0.03	0.09	0.23	0.17	0.24	0.47	0.27
ネコハギ	0.00	0.02	0.16	0.18	0.22	0.11	0.10	0.05
セイタカアワダチソウ	0.00	0.02	0.06	0.07	0.08	0.09	0.22	0.26
スギナ	0.00	0.09	0.16	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00
ススキ	0.00	0.00	0.02	0.03	0.03	0.06	0.14	0.12
カモガヤ	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.00
その他C3	0.00	0.02	0.07	0.06	0.06	0.02	0.03	0.02
その他C4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01
C3合計	0.07	0.58	1.51	1.24	1.00	0.74	1.34	1.05
C4合計	0.00	0.07	0.39	1.38	1.87	2.73	3.67	2.92
94年合計	0.07	0.65	1.90	2.62	2.87	3.47	5.01	3.97
93年合計*	0.28	0.73	1.30	1.76	2.10	2.25	3.40	-

*1993年のものは測定日がやや異なるので、参考値である.

表5. 灌水区と対照区の夏季乾燥時の土壌含水率
深さ10cmの含水率 (水/土壌乾重, %, 8/11測定)

	対照区	灌水区
チガヤ区	42.2	60.1
ヒロハウシノケ区	42.6	56.3

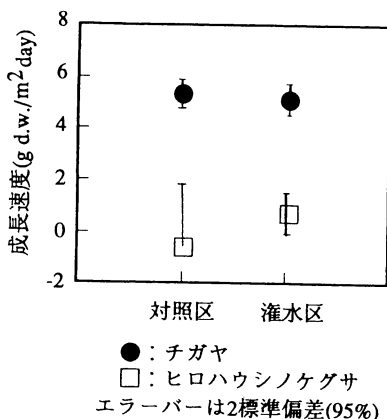


図3. 灌水区と対照区の夏季乾燥時40日間の成長速度.
C3植物のヒロハウシノケグサは、灌水なしでは夏季乾燥時に成長できないが、C4植物のチガヤは灌水なしでも成長できる.

減少し、9月に再び増加した。6月のピークは主に寒地型牧草であるヒロハウシノケグサによるもので、9月のピークは主に北米原産の帰化植物のセイタカアワダチソウと、メドハギによるものであった。C4植物のLAIは7月から9月にかけて急激に増加し、9月で最大の3.7になった。全体としては、4月から8月にかけて緩やかに増加し、C3植物の第二ピークとC4植物のピークとが重なる9月に最大値5.0となった。現存量と同様にLAIにも6月と7月の間にC4植物によるC3植物の追い越しが見られ、8月にはC3植物は全体の20%近くまで低下したが、9月にはやや上昇し、30%近くまで戻った。表には93年のデータ (Liu, 1993) も示されており、94年の方が93年よりLAIは全体的に高いことが分かる。ただし、測定法や測定日がやや異なるので厳密な比較は出来ない。

(2) 灌水実験

灌水実験では、C3植物のヒロハウシノケグサで灌水による成長促進効果が認められた (図3)。対照区、すなわち無処理区では7月1日の実験開始以降地上部は増加せず、現存量が徐々に減少したが、灌水区では増加した。それに対しC4植物のチガヤで

は、灌水区も対照区もほぼ同じ速度で地上部が増加した。チガヤの成長速度は、灌水した場合のヒロハウシノケグサのその5倍近かった。

V. 考 察

実験に用いた草原は微気象観測圃場なので、他の気象観測の障害となる木本の侵入が年に一度の刈り取りによって除去されており、森林に遷移することのない草原である。しかしここ数年に侵入した植物は、関東では一般的な裸地への侵入雑草であり、田畑や造成地が放置された場合に形成される草原とよく似た変化を示すものとみられる。ただし、主要種の中で北米原産の帰化植物であるメリケンカルカヤは、あまり一般的な侵入種ではない。丈の低いイネ科植物なので、刈り取りによって草丈の高い植物が除去されていたので1992年よりかなり前からヒロハウシノケグサと共存し、増加したものと思われる。

この草原で得られた現存量の季節変化は、C4植物が高温・乾燥に強いという生理的特性を反映した結果といえる。現存量の増減は葉での光合成生産の結果であり、C3植物とC4植物のLAIの季節変化が、それらの生産活動の目安となると考えられる。C3植物のLAIがピークを迎える6月と9月は共に平均気温が20~21℃、降水量も1年で最も多い150~200mmであり、平年ではどちらの月も降水量が可能蒸発散量より多い。しかし平均気温が23~24℃、可能蒸発散量が降水量を上回る7、8月では明らかにC3植物のLAIは下がる。これはこの時期がC3植物にとってかなり環境が厳しく、6月にピークを迎えるC3植物種が、この時期を避けるように枯れ、9月にピークを迎えるC3植物種がまだ小さいうえに、この時期の蒸散による水の損失を減少させるために気孔を閉じて光合成量が低下してしまい、十分に成長できないためだろう。一方、C4植物は、7月、8月、9月の夏の最盛期もLAIが順調に増加する。背景で述べたとおり、C4植物は蒸散速度が小さいため葉面積が減らず、相対的に有利になるばかりでなく、強光下でも光合成速度の光飽和もおこらないので光合成効率も上がり、ますます有利になったためであろう。

C3植物であるヒロハウシノケグサは夏季の高温乾燥によって成長が阻害されるが、灌水実験の結果から、1日4mm程度の灌水でも乾燥状態が緩和され、ある程度成長できると言える。一方、C4植物であるチガヤは夏季乾燥時でも十分に成長でき、その成長速度はC3植物よりも遥かに大きいために、高温・乾燥状態の場所で生育するにはかなり適していると言える。C4植物によるC3植物の現存量の追い越しの時期が94年の方が93年よりも1ヶ月早かったのは、おもにヒロハウシノケグサとチガヤの現存量の変化の差にあり、93年6~7月の20℃前後の低温で多雨という条件がヒロハウシノケグサにとって好適で、チガヤにとっては不適だったため、また、94年6月の小雨・7月初めの高温で日射量が多いという条件が、この2種にとって逆に作用したためと考えられる。

VI. まとめ

C4植物の葉面積指数(LAI)や現存量は、ここに示した1993年と1994年の調査から明らかなように、夏のC3植物のLAIや現存量を追い越すが、1994年のように気温が高く乾燥が厳しい年には、追い越す時期が遅まることは確かであろう。このことから考えて地球温暖化とそれに伴う乾燥化の進行のみに限ればC4植物の現存量が今よりも増加してC3植物よりも優勢になるであろうし、その過程で、劣勢に追い込まれたC3植物の中には排除されてしまう種も出てくるだろう。しかし実際には、CO₂濃度増加による植物、特にC3植物への大気の施肥効果と蒸散抑制効果も作用するので、今後の植生変化は、両者を併せて解析する必要があることは言うまでもない。

引用文献

- 奥田敏統・古川昭雄(1990) C4植物のフロラとその日本国内における分布 日本生態学会誌 40: 95-121
- 武田友四郎・谷川孝弘・縣 和一・箱山 晋(1985) イネ科C3、C4植物の生態と地理的分布に関する研究 第1報 日本におけるC3、C4植

- 物の分類ならびに気象条件による地理的分布.
日本作物学会紀事 54: 54-64.
- 沼田 真・浅野貞夫 (1970) 日本植物生態図鑑
築地書館
- 劉 厦・及川武久 (1992) 水理実験センター草原
生態系の現存量の種別の季節変化と環境条件
筑波大学水理実験センター報告 第18号 69-
75.
- Hattersley, P.W. (1983) The distribution of C3
and C4 grasses in Australia in relation to cli-
mate. *Oecologia* 57: 113-128.
- Kalapos. T (1991) C3 and C4 grasses of Hunga-
ry: Environmental requirements, phenology
and role in the vegetation. *Abstracta
Botanica* 15:83-88.
- Liu Sha (1993) Seasonal changes of biomass and
carbon dioxide flux in a grassland. 筑波大学
大学院環境科学研究科修士論文
- Teeri, J.A. and Stowe, L.G. (1976) Climatic pat-
terns and the distribution of C4 grasses in
North America. *Oecologia*, 23:1-12.
- Thorntwaite (1948) An approach toward a ra-
tional classification of climate. *Geograph-
ical Review* 38:55-94