

パラグライダーから撮影した写真に基づく草原群落の 種組成解析とバイオマスとリター量の推定について

A Study of Estimating Biomass and Litter of a Grassland Using an Aerial Photo

李 載錫*・李 吉宰**・及川 武久***

Jae-Seok LEE*, Gil-Jae LEE** and Takehisa OIKAWA***

Abstract

Understanding the carbon cycle of the major grassland ecosystems of the world is critical for developing accurate and predictive global carbon cycle models. Technique of measuring accurate net primary production (NPP) in some area is needed to calculate net ecosystem production (NEP). In this study, we measured total biomass including above- and belowground and litter in using an aerial photo. The results of this study suggest that aerial method is as effective for the measurement of NPP for community including various subcommunities.

1 はじめに

近年、人間活動による温暖化があらゆる生態系に深刻な影響を与えるものと懸念されている。このような認識に基づいて、IGBPのような国際共同研究を中心として、温暖化の影響に関する幅広い分野で研究が行われている。陸上生態系、特に植生に対しても温暖化によって引き起こされる影響を明らかにするための多くの野外研究が行われて来た。しかし、今までの研究は植生、気象、水文、土壌などの別個の分野で各々独立に研究が進められてきたために、それらの相互関係を見いだす作業は非常に限られていた。このような問題点を克服するために、最近は特定の地域を対象に

境界領域の研究を統合化する努力が試みられてきている。筑波大学陸域環境研究センター内の熱収支・水収支を観測する草原圃場を対象として、1993年以来この10年来筑波大学生態学研究室で行われている研究もその好例といえよう。

陸域環境研究センター内の熱収支・水収支を観測する草原圃場は直径160mの円形をしており(面積は約2ha)、中央に高さ30mの微気象観測用のタワーが建てられている。生態研究室では10年余にわたって、この圃場を構成する植物種の種別のバイオマスと優占種の季節変化、種組成の年々変化などの生態的な調査を行うとともに、植生の動態と気象条件との関係を解析してきている(劉・及川, 1993; 赤沢・及川, 1995; 田中, 1998; 田中・及川, 1999; 李・及川,

* 筑波大学陸域環境研究センター

** 筑波大学生命共存科学研究科

*** 筑波大学生物科学系

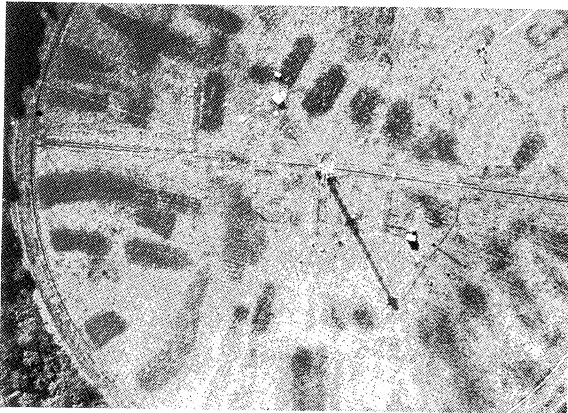


図1. 1994年気球を用いて撮影した圃場の植生。濃い緑の部分は1985年種まきが行われたと考えられる部分(1994年5月19日撮影)。

2000; 横山・及川, 2000, 2001). このような生態学的調査と平行して、水、二酸化炭素などの物質交換を観測し、地球温暖化に対する植生の応答を予測するなどの微気象学的な研究も進めてきている(及川ほか, 1994; Saigusa *et al.*, 1998; Toda *et al.*, 2000; Li and Oikawa, 2001). このような微気象生態学的な研究を進めるに当たって、一つの大きな問題点が出てきた。それはこの圃場内の植生の分布状況が極めて不均一な点である。場所によって優占する植物種もあるいは生育状況も異なるが、実際の植生調査は2haの圃場のごく一部分しか行えない。従って、圃場全体の平均的な植生状況を把握するのは非常に困難な状況にあった。

このような困難を打破する第一歩として、パラグライダーから圃場全体を撮影した空中写真を用いて観測圃場の植生の優占種とそのバイオマスとリター量を推定する研究を開始したので、この新たな手法によって得られた結果を報告する。

II 現在までの草原の管理

最初はオニウシノケグサ(ケンタッキー)の均一な植生状態であったこの円形草原も、年とともに周辺に生育している種が侵入してきたために不均一な植生に変わってきた。また、同じ圃場内であってもそれぞ

れの土壌環境の微妙な違いなどにより、さまざまな植物種がパッチ状に混生するようになった。当時、センターでは圃場植生を均一に保つために、MCPP 除草剤の一面散布、春先の芽生え期における雑草の手取り、選択性除草剤のスポット散布、生育期に全面刈り取りなどの手法を用いて圃場を管理した。しかし、このような手段をとったにも関わらず、オニウシノケグサの均一な草原は維持できなかった。結局、1985年冬季に圃場の均一性を回復し、貧弱な地力を肥沃化させるために、耕うんと施肥を行った上で、オニウシノケグサの種子を再度播き付ける作業を行った。1994年に撮影された写真(図1, 1994年5月19日撮影)から1985年に行われた作業を読みとると、圃場全面で耕うんと施肥、播種を行ったのではなく、大きさが異なる数十個の長方形状に処理を行ったと思われる。そのような処置後、圃場は夏と冬の2回の草刈を行うなどの管理により短期間は、均一性を回復したが、時間とともに不均一性は再び高くなった。さらに1994年からは夏の刈り取りが中止されて不均一性は加速され、現在のような植生状況に至ったものと判断される。

III 草原のバイオマス調査

1) 空中写真の撮影と植生図の作成

草原全体の植生状況を正確に把握するために、2001年7月から11月まで毎月エンジン付きの有人パラグライダーで上空約150mから圃場全体の写真を撮影した。但し、大気が不安定であった9月はパラグライダーからの撮影が行えず、魚眼レンズ付きのカメラをラジコンヘリに装着し、上空100mから無人で撮影した。

このように撮影した写真を基に、圃場全体の植生を優占順位が高いセイタカアワダチソウ(C3)、チガヤ(C4)、ススキ(C4)の三種の群落のいずれかに大別した。植物は種ごとに季節的に色が変化する。三種の分布域が最も良く判別できる10月の写真を横30cm、縦25cmの大きさに拡大し、トレーシングペーパーを被せてそれぞれの種の占有面積を写し取った。さらにそれを透明なOHPシートにコピーして面積を葉面積計(AAM-7 林電工)で測定した。その値から圃場内の三

表 1. 陸域環境研究センターの草原群落を構成している主要優占群落の面積と分布特性

種	群落面積		分布中心	群落特性
	m ²	%		
<i>Solidago altissima</i> (C3)	6,745	33.6	東側	チガヤと混生する場合が多い.
<i>Imperata cylindrica</i> (C4)	6,092	30.3	北側	チガヤ純群落とセイタカアワダチソウとの混生群落で構成する.
<i>Miscanthus sinensis</i> (C4)	7,259	36.1	南西側	ススキ純群落と多数のススキクローンで構成する.
圃場面積	20,096	100		

種の実占有面積を計算した.

より簡単な方法として, 画像をスキャナーでパソコンに取り込んで同色の群落のみを選択し別の画像として保存し, Lia32(画像解析プログラム, 静岡大学リモートセンシンググループ提供)で面積を計算する方法もあることを紹介しておく.

2) 各群落の総バイオマスとリター量の推定

各々群落の総バイオマスとリター量を推定するために, 該当群落を代表できると判断された場所に 1m × 1m 大きさの方形区を 3 個ずつ設置し, 地上部の全てを刈り取った (2001 年 10 月 23 日). 刈り取った植物は茎, 葉, 花の部分に分けた. 地下部とリターについては地上部を刈り取った 1 m² の方形区内に 0.5 × 0.5m² の枠を設置し, 地表面のリターを全て回収した後, 植物の地下部を含んでいない深さまで地下部を掘り取った. このように採取した地下部は土を水で洗い落してから紙袋に入れて, 地上部と共に 80℃ の乾燥機に入れて 48 時間以上乾燥させた後, その重さを測った. このようにして調べた単位面積当たりの値から実際の圃場内にある種ごとの総バイオマスとリター量を推定した.

IV 結果

圃場の草原群落は主にセイタカアワダチソウ (*Solidago altissima*, C3), チガヤ (*Imperata*

cylindrica, C4), ススキ (*Miscanthus sinensis*, C4) の 3 種によって構成されている. ススキ群落は主に圃場の西側に, セイタカアワダチソウ群落は東側に, チガヤ群落は北側を中心に分布している (図 2, 2001 年 7 月 23 日撮影). セイタカアワダチソウ群落の場合は, 一部を除くほとんどの地点でチガヤと混生しているが, チガヤの場合は, チガヤ純群落とチガヤ - セイタカアワダチソウ混生群落とに分けられた. これら三種の群落が占める割合はセイタカアワダチソウが 6,745m² で圃場全体の 33.6% を占め, チガヤが 6,092 m² で 30.3%, ススキが 7,259 m² で 36.1% であった. C3 植物群落と C4 植物群落の面積割合として見ると, C3 群落の 33.6% に対して, C4 群落は 66.4% で, C4 群落が C3 群落の約 2 倍の面積を占めていた (表 1, 2001 年 10 月 23 日現在). これら三種の群落に対する単位土地面積当たりのバイオマスおよびリター量はセイタカアワダチソウが 2.23kg/m², チガヤが 4.38kg/m² (内 0.53kg はセイタカアワダチソウと混生しているチガヤの値), ススキは 7.82kg/m² で, C4 植物の方が C3 植物より圧倒的に高かった. また, それぞれの群落の地下部と地上部の割合は, セイタカアワダチソウでは地上部が 48.4% に対して地下部は 51.6%, チガヤでは地上部が 29.5% で地下部が 70.5%, ススキでは地上部が 48.3% で地下部が 51.7% となり, いずれの群落でも地下部の割合が高かった. 特にチガヤの地下部は地上部の 3.5 倍の値を示した. また, 地上部と地下部の

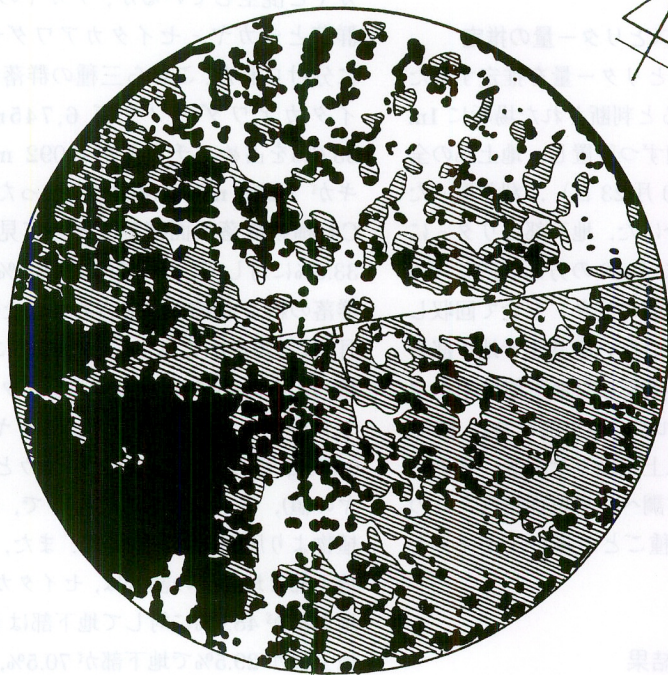


図2. 現在の植生の空中写真(上)と空中写真の基づいて作成した植生図(下)。植生図の内、斜線部分はセイタイカアワダチソウ群落(C3 植物)、白面はチガヤ群落(C4 植物)、黒面はススキ群落(C4 植物)。

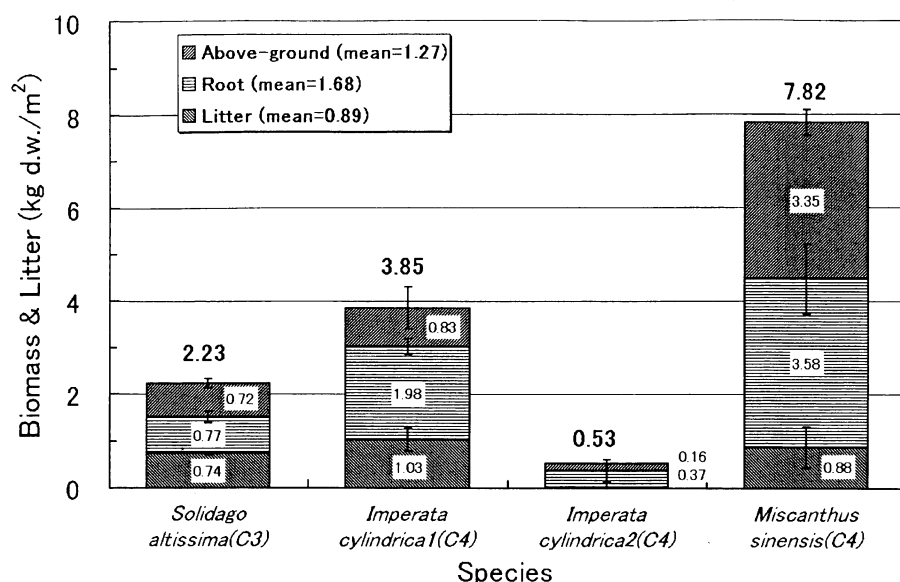


図 3. 刈り取り調査によって把握された主要優占群落の単位面積当たりのバイオマスとリター量。2001 年 10 月 23 日、それぞれの群落に地上部は 1m²、地下部は 0.25m²の刈り取り区を 3 つずつ設置して、刈り取り調査を行った。*Imperata cylindrica*1 はチガヤ純群落のバイオマス、*Imperata cylindrica*2 はセイタカアワダチソウ群落内に混生するチガヤのバイオマスを示す。

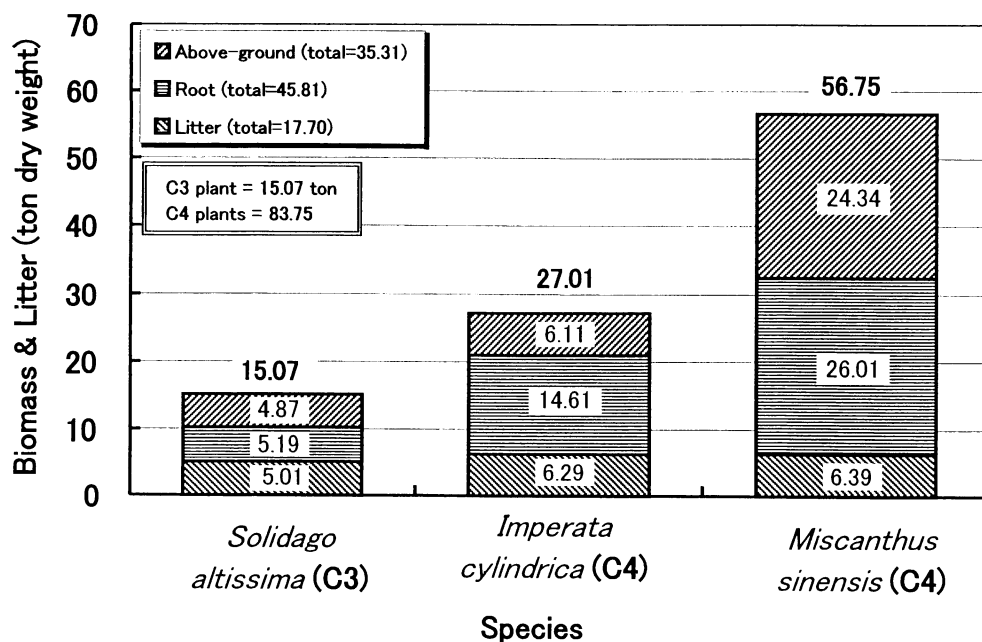


図 4. 刈り取り調査と植生図を基に推定した圃場全体の主要優占群落の総バイオマスとリター量。

バイオマスの絶対値は、セイタカアワダチソウ群落 が 1.5kg/m^2 、チガヤ群落が 3.3kg/m^2 (内 0.5kg/m^2 はセイタカアワダチソウ群落に混生している分)、ススキ群落が 6.9kg/m^2 であった(図 3, 2001 年 10 月 23 日に刈取り実施)。この値に基づいて推定した圃場全体の総バイオマスとリター量は、セイタカアワダチソウが 15.07 トン、チガヤが 27.01 トン、ススキが 56.75 トンとなり、ススキが単位面積にしても圃場全体にしても最も高かった(図 4, 刈取り調査は 2001 年 10 月 23 日に実施)。また、C3 植物と C4 植物別に見ると、C3 植物は 15.07 トンに対して C4 植物は 83.75 トンとなり、バイオマス及びリターの蓄積量は C4 植物のほうが C3 植物よりも 5.6 倍も多くなっている。これらの値を圃場といった単位植生としてのバイオマスとリター量を計算すると植物の地上部で 35.31 トン、地下部で 45.81 トン、リターとして 17.7 トンとなり、土壌中にある有機炭素量が地上部バイオマスより約 1.8 倍高い値である。

V 考察

現在の圃場の植生状況は関東地域で起こる二次遷移の方向と一致する傾向を示している。関東地域低地のヤブツバキクラス域では、低地のススキ草原はアズマネザサ・ススキ群集でまとめられる。この群集は牧場には少なく、二次林の伐採跡地、耕作放棄地などに局地的に見られる。このアズマネザサ・ススキ群集には埋立地や土手、耕作放棄地などチガヤの優占する群落が含まれる。生育地は大部分が刈り取りや火入れなどの管理のもとにあり、人工の土地に侵入生育中の二次草原となっている。チガヤ・ススキ群落はチガヤが優占して高さ 80cm ほどに達し、ススキが散在する程度で構成種は比較的少ない。埋立地のチガヤ植分はヨモギ、スギナ、セイタカアワダチソウなどが散在する。この群落は人為的管理、特に刈り取りを停止することによりススキの植被が増し、アズマネザサなどの侵入もあって、アズマネザサ・ススキ群集に遷移するのが一般的な遷移の方向である(宮脇, 1986)。現在、圃場にはおよそ 42 種類ほどの草本種が生育している(横山・及川, 2000)が、その内、セイタカアワダチソウ、

チガヤ、ススキの 3 種が主要優占種となっている。このような陸域環境研究センターの草原は前述したアズマネザサ・ススキ群集のチガヤ・ススキ群落に属している。圃場においても人間の攪乱的な干渉がない場合、時間とともに、ススキとアズマネザサの優占度が高くなるススキ・アズマネザサ群落に変わることが予想される。しかし、陸域環境センターの圃場内でアズマネザサの優占度が低いのは、冬に行われている刈り取りにより生育が制限されるためであると考えられる。草本植物の生育休止期の 12 月や 1 月の刈り取りにより、アズマネザサ、ヌルデ、アカマツなどの木本植物の地上部は切り取られ、次の年、取り残された部分は枯れるかまたは生育活性が顕著に落ちる。圃場内でも頻繁な草刈が行われてなかったタワー底の狭い部分にはアズマネザサがクローンを形成している。このように冬に刈り取りがなかった場合を想定すると、アズマネザサ群落は圃場全体に広がっていたものと考えられる。

ススキがいったん定着すると、他の種はその生育空間内に定着するのはほとんど不可能になるため、ススキ純群落になっていくと考えられる。また、ススキ株が定着し株が増えていくことによって一面はススキの純群落になる。図 2 で圃場の西側にはすでにススキ純群落が形成されており、南東側には多くのススキのクローンが散在している。これらのクローンは時間とともにその面積は大きくなり、やがて隣接するススキクローンと融合し大群落を形成して行く。現在、圃場の西側には広いススキ純群落が形成されているとともに、西側を含む圃場全面に多くのススキクローンが分布している。これらのススキクローンは年々大きく拡大し、圃場での占有面積を広げていると考えられる。即ち、時間が経過すると共に、圃場はススキ群落に変わることが予想される。このようなススキ群落の占有面積の拡大は、ススキ群落の単位土地面積当たり地下部バイオマスが最も大きかったから推察して、ススキが光合成産物の多くを地下に蓄える性質によることを示唆している。

ここに述べたように、今回試みたパラグライダーから撮影した空中写真は、圃場全体の種別の専有面積やバイオマスを見積もる上で極めて有効な解析手段であ

る、従って、来年以降も継続してこの解析を続けければ、草原圃場の状況を的確に捉えたと共に、二次遷移の経過も詳細に明らかに出来るであろう。

謝辞

遠いところから空中写真を撮影して頂いた関口伸夫さんに感謝します。

文献

- 赤沢孝之・及川武久(1995): 水理実験センター草原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. 筑波大学水理実験センター報告, 20, 69 - 77.
- 及川武久・三枝信子・劉厦(1994): 草原生態系－大気間の二酸化炭素・水交換過程の解析 平成5年度文部省国際協同研究経費「大学等における地球圏－生物圏国際協同研究計画」成果報告書, 66-76.
- 田中克季(1998): C3/C4 植物の混生草原の季節動態に対する温暖化の影響の実験的解析. 筑波大学修士課程環境科学研究科修士論文.
- 田中克季・及川武久(1999): C3/C4 植物が混生した水理実験センター内円形圃場におけるバイオマスと LAI の季節変化特性. 筑波大学水理実験センター報告, 24, 121 - 124.
- 宮脇昭(1986): 日本植生誌(関東). 至文堂, 258-261.
- 横山智子・及川武久(2000): 水理実験センター圃場における 1999 年の C3/C4 混生草原の LAI とバイオマスの季節変化. 筑波大学陸域環境研究センター報告, 1, 67-71.
- 横山智子・及川武久(2001): 陸域環境研究センター圃場における 2000 年の C3/C4 混生草原の LAI とバイオマスの季節変化. 筑波大学陸域環境研究センター報告, 2, 37-38.
- 李勝功・及川武久(2000): C3/C4 混生草原における CO₂ フラックスの日変化. 筑波大学・陸域環境研究センター報告, 1, 73-75.
- 劉厦・及川武久(1993): 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, 18, 69-75.
- Li, S. and Oikawa, T. 2001: Energy budget and net canopy carbon dioxide flux over a humid C3 and C4 co-existing grassland. *International Workshop for Advanced Flux Network and Flux Evaluation*, 23-28.
- Saigusa, N., Oikawa, T. and Liu, S. 1998: Seasonal variations of the exchange of CO₂ and H₂O between a grassland and the atmosphere: An experimental study. *Agricultural and Forest Meteorology*, 89, 131-139.
- Toda, M., Saigusa, N., Oikawa, T. and Kimura, F. 2000: Seasonal changes of CO₂ and H₂O exchanges over a temperate grassland. *J. Agric. Meteorol.*, 56, 195-207.