

## 自作草量計による牧草収量推定法の検討

前田康之\*

### A Study on Grass Yield Estimation Methods Using Own Making Pasture Meter

Yasuyuki MAEDA \*

#### Abstract

The amount of grass produced in a large area is conventionally estimated from those in small quadrates, using a calibration curve method. This procedure is time-consuming and the data obtained lacks accuracy. Some foreign developed pasture meters are available on the market, but they have not been widely used by the farmers because of their high prices. In this study, the fabrication method of an own making pasture meter which has sufficient accuracy was contrived, and the accuracies and the labor time of some estimation methods were examined. The material cost of an own making pasture meter was only about 600 yen. The contribution coefficient of the calibration curve was 0.791 on the own making pasture meter, and it was 0.592 on the commercial pasture meter. The large estimation error was observed in the grazing pasture compared to the grass field. The most accurate estimation was gamma distribution method when the data was measured with an own making pasture meter. The average labor time of measurement in the fields was 23.7 minutes on quadrat sampling method and it was 11.0 minutes on simple gamma distribution method. By using above mentioned results, the grass production estimation program was developed so that farmers and technical workers can use this method easily.

Key words: pasture meter, grass production estimation, gamma distribution method

キーワード: 草量計、収量推定、ガンマ分布法

## 1 緒言

牧草地の収量を把握するためには、ほ場において坪刈り調査を行うのが一般的である。しかし坪刈り法は草地のような大面積ほ場では、必要なサンプル数が多くなり、多大な時間と労力を要するという問題点がある。そのため、これに代わる簡易で省力的な収量測定方法の開発が求められている。海外のメーカーにより各種の草量測定器具が市販されているが、価格や精度等の問題で我が国の生産現場では普及が進んでいないのが現状である。

そのひとつであるライジングプレートメータ(ニュージーランド・JENQUIP社製、以下RPM)は、構造・使用方法ともに単純で、降雨や土壌特性の影響を受けずに草

量測定ができるという特徴がある。

一方、それらの草量測定器具で得られた測定値からの推定収量計算手法にもいくつかの種類がある。通常は単純な検量線による収量推定であるが、回帰式の精度と汎用性を高めるためには、できる限り検量線作成に用いるサンプル(草量計測定値と坪刈り収量)の点数を増やす必要がある。しかし異なったほ場のデータは、植生、草量、季節変化など様々な要因で違いがあり、サンプル数が増えても回帰式の寄与率増加に結びつかない場合が多い。

そのような中、近年の研究で牧草地内の収量分布はガンマ分布曲線によく当てはまることが報告されている<sup>3)~5)</sup>。ガンマ分布は、数式によるモデル導入法が明快

で、2つのパラメータによる簡易な式で表されるという点により、その他の手法よりも合理的で利用しやすい。また、ほ場の草量分布をガンマ分布曲線に当てはめる場合には、検量線法のように予め多数のサンプルから回帰式を作成しておく必要がなく、初めて調査するほ場でも余分に労力がかかるということがない。そのため、草地の収量推定にこの手法を用いることで、坪刈り法よりも高い精度で、かつ省力的に収量推定ができるものと期待されている。

そこで本研究では、種々の収量推定手法の精度や作業時間を実際の草地において調べ、比較検討した。さらに、草量計を低コストで自作する方法及び、それを用いた高精度での収量推定手法について検討した。

## 2 試験方法

### (1) 収量推定手法と推定精度・測定作業時間

収量推定手法は、坪刈り法を基準として、検量線法、ガンマ分布法、目視法に測定条件を組み合わせた6手法とし、各収量推定手法の推定精度、測定作業時間を比較した。

#### A 収量推定手法と推定精度

用いた収量推定手法は以下のとおりとした。なお、坪刈りの際に使用するコドラートは50cm×50cmのものを用いた。RPMによるほ場内測定は、ほ場の対角線上を十字に歩くようにして測定するものとした。

##### ①坪刈り法

一ほ場につきコドラート枠5か所の坪刈りを行い、その平均重量を換算して10a当たり収量を推定。刈り取りは地際から5cmの位置で実施。

##### ②検量線法(圃場法)

ほ場ごとに実施する5か所の坪刈りとその枠内のRPM測定値から、検量線を作成。ほ場内をRPMで約100か所測定した平均値をその検量線(一次回帰直線)に当てはめて、収量を推定。

##### ③検量線法(一般法)

ほ場、時期、植生などの区別なく、多数の坪刈りと測定値のサンプルから汎用的な検量線を作成(n=100程度の一次回帰直線)。調査ほ場内のRPM測定値100点の平均値を、その一般化した検量線に当てはめて収量を推定。

##### ④ガンマ分布法(標準法)

ほ場内2か所の坪刈り値と100か所のRPM測定値から草量分布のパラメータを作成し、ガンマ分布曲線に当てはめることで収量を推定。

##### ⑤ガンマ分布法(簡易法)

上記④のRPM測定数を50か所とし、同様にガンマ分布曲線に当てはめて収量を推定。

##### ⑥ガンマ分布法(目視法)

上記④でRPMを用いる代わりに、測定者の目視によって基準草量に比した草量の多少を判定し(100か所)、ガンマ分布曲線に当てはめて収量を推定。

上記④、⑤、⑥では、調査ほ場における草量は次のガンマ分布に当てはまるという仮定に基づく。

$$f(w) = \frac{w^{p-1} p^p}{\Gamma(p) \mu^p} \exp\left(-\frac{pw}{\mu}\right) \quad (1)$$

ここで、 $w$ は任意の一定面積(坪刈り枠)あたりの草量、 $f(w)$ は密度関数、 $\mu$ は一定面積あたりの平均草量である。 $p$ は草量の空間的不均一性のパラメータ、 $\Gamma(p)$ はガンマ関数を表し、次のように定義される。

$$\Gamma(p) = \int_0^{\infty} w^{p-1} e^{-w} dw$$

また、草量の分散を $\sigma^2$ とすると、

$$p = \frac{\mu^2}{\sigma^2}$$

である。

推定には畜産研究所沼尻分場内の採草地10ほ場(各1ha程度の区画)を用い、上記6種類の手法を用いて各ほ場の収量を推定した。さらに、それらの推定値と実際の収穫量(実収量)との差から偏差平方和を計算し、これを推定精度として比較した。

偏差平方和は次の式から求めた。

$$S_x = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

ここで、 $n$ は調査ほ場数、 $x_i$ は各推定手法による10a当たりの収量推定値、 $\bar{x}$ は実収量から求めた10a当たりの平均収量である。

#### B 収量推定手法と測定作業時間

上記6種類の推定手法の、ほ場における測定作業時間を従来の坪刈り法と比較し、省力性について評価した。作業時間の調査は、各手法による測定を採草地および放牧地計8ほ場(各1ha程度の区画)において実施することで行った。

ここで、ほ場外での作業時間(サンプル乾燥時間、検量線算出時間、ガンマ分布曲線算出時間など)は各手

法でほとんど差がないため、ここでは算入していない。(ガンマ分布曲線の計算についても、従来の手法を用いると手計算に時間を要するが、後述のプログラムを使用すれば、検量線算出時間と同程度となるため)

(2) RPM 型草量計の自作と測定法の開発・推定精度の検証

A RPM 型草量計の自作と低コスト化方法

市販のRPMにはいくつかの課題があり、農家へ普及する際の障害となっている。

今回は下記のような点から、低コストで十分な測定精度が得られるRPM型草量計の開発を試みた。

- ①市販RPMの価格は約7万円、その他の各種草量測定器具も10～30万円と高額である。
- ②RPM型草量計は仕組みが非常に単純なため、安価な材料で容易に自作できると考えられる。
- ③市販品は精密で、草地上で粗野な扱いをすると故障しやすい。また、市販品は特殊な部品を使用しており、自分での修理が難しい。
- ④市販RPMはその構造上、圧縮草高が40cm以上になるほ場では測定不可能となり、採草地での使用は時期やほ場条件がかなり限定される。
- ⑤同じ仕組みのRPM型草量計でも、個々の器具によって重心や滑り具合が微妙に異なる。しかし毎回同じ器具で測定し、その器具についての検量線の作成や分布曲線への当てはめを行う場合には、市販か自作かによる推定精度の違いはないと考えられる。

上記5点を参考に、材料および製作方法も比較的容易に手に入るものを用い、特殊な加工をしないということを条件として試作を行った。

B 測定方法の開発

開発した自作草量計を用いた、測定方法を検討した。測定はガンマ分布法による草量推定を基本とし、堤ら<sup>3)</sup>の方法をもとに、下記のとおりとした。

調査ほ場における各パラメータの取得は下記のように行う。

- ① 草地上において任意のN箇所をRPM(または自作草量計)により測定。
- ② RPMの測定値を基に基準草量 $Q_1$ 、 $Q_2$ を $M \approx N_1 \approx N_2$ となるよう決定し、坪刈り測定する。
- ③ RPM測定値を $Q_1$ g未満、 $Q_1$ g以上 $Q_2$ g未満、 $Q_2$ g以上に分類する。

- ④ 次の式(2)の $Q_1$ 、 $Q_2$ 、 $N_1$ 、 $M_1$ 、 $N_2$ に取得したデータを代入。式(1)の $\mu$ と $P$ について解くことでガンマ分布曲線を求め、平均草量を推定する。

$$\int_0^{Q_1} f(w)dw = \frac{N_1}{N}, \int_{Q_1}^{Q_2} f(w)dw = \frac{N_2}{N} \quad (2)$$

ここで、 $Q_1$ 、 $Q_2$ は基準草量( $Q_1 < Q_2$ )、 $M_1$ は $Q_1$ より草量の少ない地点の数、 $N_1$ は草量が $Q_1$ より多く $Q_2$ より少ない地点の数、 $N_2$ は $Q_2$ より草量の多い地点の数、 $N$ は調査地点の総数( $N=M_1+N_1+N_2$ )を示す。

C 自作草量計の検量線確認

上記で製作した自作草量計の収量推定精度を市販RPMによる推定値と比較し、その有効性を検証した。

測定値は、自作草量計では目盛が圧縮草高(単位cm、最大90cm)を示すが、市販RPMではカウンター値(約0.5cm刻み、最大80)と異なり、測定値自体の比較には意味がない。そのため、両器具を用いて草地での測定を行い、収量を推定する検量線の寄与率、測定可能な収量の範囲について比較した。

測定は場内の採草地および放牧地において5月から11月までの時期に、延べ129ほ場で実施した。

(3) 自作草量計による収量の推定

自作草量計の現地での実用性を検証するために、下記の調査を行った。

採草地と放牧地において自作草量計と市販RPMによる測定を行い、解析は検量線法(圃場法・一般法)、ガンマ分布法(通常法・簡易法)で行った。

測定は場内の採草地および放牧地において5月から11月までの時期に22ほ場、各手法で計150回の調査を実施した。

この際、放牧地では実収量値を知ることが困難であるため、採草地・放牧地とも基準とする収量は坪刈り調査値とした。また、収量の推定誤差は次の式で求めた。

$$e_x = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n \bar{x}}$$

ここで、 $n$ は調査ほ場数、 $x_i$ は各手法による10a当たりの収量推定値、 $\bar{x}$ は坪刈り法で求めた10a当たりの平均収量である。

(4) 測定値をもとに収量を推定するプログラムの作成

RPM等の草量計を用いて測定値を得ること自体は簡

易な作業であるが、その測定値をガンマ分布曲線に当てはめて推定収量を計算するには、複雑な積分方程式の計算が必要となる。そこで、ほ場における草量は式(1)のガンマ分布に当てはまるという仮定に基づき、自作草量計で測定したデータをパソコン上で解析し、推定収量を自動計算するプログラムを作成した。

また植生や測定条件などによっては、通常の検量線法(一般法)で簡易に収量推定することが可能な場合も考えられるため、検量線法による自動計算プログラムも作成した。

### 3 試験結果

#### (1) 収量推定手法の精度・作業時間

##### A 各推定手法の精度比較

6種類の収量推定手法の精度を実収量に対する推定値の偏差平方和として比較した(表1)。

各手法を比較する前に、取扱説明書の検量線をそのまま利用した場合の偏差平方和を求めたところ、3,754,378と非常に大きい値となった。

特別な道具を用いないガンマ分布法(目視法)は最も低コストであるが、目で草の多少を判断するため測定者の熟練を要する手法である。そのため一般的には推定精度が低いと言われており、今回の試験でも偏差平方和は他の手法の倍近い567,853という値であった。

従来より最も一般的な手法として行われている坪刈り法は345,939となり、RPMを用いる他の4手法よりも推定精度は低いという結果であった。

作業工程が最も煩雑となる検量線法(圃場法)が最も推定精度が高く、偏差平方和は他の手法の1/2から1/3の値であった。

表1 採草地の実収量を基準とした場合の各推定手法の偏差平方和

	偏差平方和
坪刈り法	345,939
検量線法(圃場法)	94,997
検量線法(一般法)	248,247
ガンマ分布法(標準法)	325,155
ガンマ分布法(簡易法)	237,158
ガンマ分布法(目視法)	567,853
市販RPM取扱説明書検量線	3,754,378

表2 測定にかかる作業時間(分/ha)

	平均測定時間	標準偏差
坪刈り法	23.7 <sup>a</sup>	7.1
検量線法(圃場法)	26.2 <sup>a</sup>	7.2
検量線法(一般法)	14.7 <sup>b</sup>	5.8
ガンマ分布法(標準法)	19.7 <sup>ab</sup>	5.8
ガンマ分布法(簡易法)	11.0 <sup>b</sup>	4.2
ガンマ分布法(目視法)	16.4 <sup>b</sup>	5.2

※異符号間に有意差有り(p<.01)

以上から、ガンマ分布法(目視法)を除く4つの手法すべてで坪刈り法よりも推定精度が高いという結果であった。つまり、従来の坪刈り調査と同程度の推定精度を求める場合、目視法以外であれば十分に利用可能であるといえる。そこで次に、省力性やコストの面から、これら各手法を比較することにした。

##### B 各推定手法の作業時間比較

各推定手法を用いてほ場で測定を行った場合の作業時間について一元配置分散分析を行った結果、手法間で有意な差が認められた(表2)。

最も多くの作業が必要になる検量線法(圃場法)が26.2分/haと、最も時間がかかった。これに次いで、坪刈り法が23.7分/haと長かった。最も省力的なのは、ガンマ分布法(簡易法)の11.0分/haであった。

以上からRPMを用いた収量推定は、従来の坪刈り法よりも精度が高く、かつ省力的な方法であり、坪刈り法の代替手法にできる可能性が示唆された。

#### (2) RPM型草量計の自作と測定方法の開発

RPM型草量計の自作法を検討し、それを用いた測定法の開発を試みた。

##### A 自作草量計の必要資材・製作手順

ホームセンター等で容易に手に入る資材を用いて、草量計を自作する方法を考案した(図1)。製作に係る材料費は約600円に抑えられた。

##### (A) 必要資材

- ・ハウス用直管パイプ(外径22mm, 110cm程度)
- ・水道用塩ビ管つなぎ(16mm)
- ・漬け物用押しボタン(直径29cm程度)
- ・一升瓶のフタ、又はワッシャー
- ・紙製メジャー(約100cm)
- ・ビニールテープ

**(B) 製作手順**

- ①ハウス用パイプを110cmに切断
- ②水道用つなぎのキャップの端を幅約1cmに切断
- ③漬け物用押しボタの中心部分に穴を開ける(穴の直径は、水道用つなぎのネジ切り部が入る大きさ)
- ④部品の組み立て:切断した水道管つなぎキャップの間に押しボタを挟んで固定。また、ハウス用パイプの片側に一升瓶のフタをはめ込み、ボンドで接着。又はワッシャーを溶接
- ⑤測定目盛の記入:ハウス用パイプに水道つなぎを通し、円盤位置が最下部になった状態で、メジャーの0位置をつなぎパイプの上端にあわせて接着する
- ⑥グリップの加工:ハウス用パイプの上端(持ち手の部分)にビニールテープ等を巻く

**B ほ場における測定作業**

自作草量計を用いた測定作業の手順について検討し、ガンマ分布法による収量推定に必要なデータの取り方を以下のとおり体系化した。

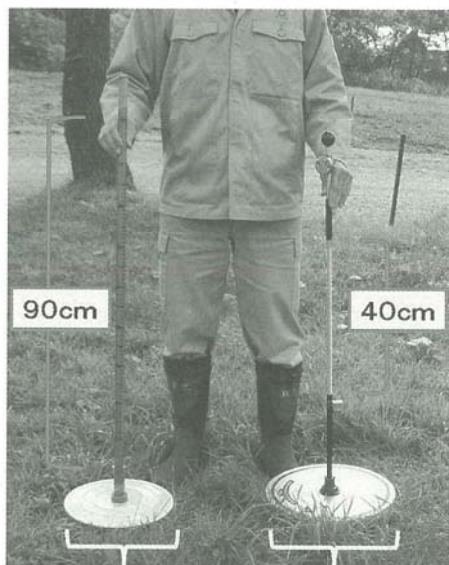


図1 自作草量計(左)と市販RPM(右)

**①調査用紙の準備**

草地名、調査日、圧縮草高測定値50~100点、坪刈り枠2か所の圧縮草高と坪刈り収量が記録できる調査用紙を作成する。

**②収量推定手法の選択**

今回作成したExcelの収量推定プログラムでは、次の2種類の推定手法を選択できるようにした。

**・検量線法**

調査ほ場の植生状態が良く、草量が正規分布していると想定できる場合(採草地など)や、毎回同じほ場を測定する場合、時期や植生が似通ったほ場を測定

する場合などに利用できる。ある程度データが蓄積されれば、検量線作成のための坪刈り調査が不要となるため、非常に省力的に調査が実施できる。

**・ガンマ分布法**

調査ほ場内での草量分布のバラツキが大きい場合(放牧地など)、又は分布の形が不明な場合には、ガンマ分布法を用いる。1回の調査で2か所の坪刈りが必要となるが、検量線法のようにデータを蓄積する必要がなく、初めて調査するほ場でも高い精度で収量を推定することができる。

**③調査ほ場の確認**

ほ場の面積・形・傾斜等を見て、どのようなルートでは場内を測定するかの目星を付ける。

**④測定とデータ記録**

測定は2名で、測定者と記録者に分かれて行う。1ほ場50~100点程度の測定を行うため、ほ場の大きさを見て、何歩ごとに測定するかを決める。

ほ場が長方形の場合には、対角線上を十字に歩くようにして、測定する。対角線上に目標物を見定め、まっすぐに歩行・測定していく。

**⑤坪刈り地点2点の決定**

ガンマ分布法の場合、1ほ場で2か所の坪刈り調査が必要となる。坪刈りする地点は、全体の草量分布を約1/3ずつに等分する2点(草量が平均より少なめの地点 $Q_1$ 、平均より多めの地点 $Q_2$ )を選ぶ。

**⑥坪刈り地点におけるコドラート内RPM測定と坪刈り**

坪刈り地点において草を刈り取る前に、50cm四方のコドラート内5点を草量計で測定し、記録する。その後、地面から5cmの高さで刈り取り、サンプル袋に採取する。

**⑦乾物収量の算出**

秤量計で、サンプル袋に入れた生草重量を測定。さらに乾燥器で80℃・24時間乾燥後、重量を測定することで、水分含量・乾物率を調べる。

**C 自作草量計による収量の推定**

作成した自作草量計と坪刈り収量から検量線を作成し、収量の推定精度を市販RPMによる精度と比較した(図2、3)。

検量線の寄与率は、市販RPMは0.5922となり、他の報告による値0.466~0.824<sup>1)</sup>、0.63<sup>6)</sup>、0.68<sup>7)</sup>と同程度の値となった。これに対し、自作草量計の寄与率は0.7907と市販RPMよりも高かった。

なお、市販RPMは圧縮草高が40cmを超えるほ場での測定が構造上不可能であるため、採草地での1番草収穫時期の多くで測定不能となった。収量で見ると、およそ1,700kg/10a以上となるほ場で使用できなかった。

そのため図2の検量線は、測定可能なほ場のデータのみを用いている。自作草量計は、圧縮草高90cm程度まで測定できるため、測定不能となるほ場はなかったが、市販RPMと同条件で比較するために圧縮草高40cm以下のは場データのみで検量線を作成したところ(図3点線)、寄与率は0.6985であった。

つまり草高によらず、自作草量計を使って市販品と同等以上の精度で、検量線法による収量推定が可能であると考えられた。

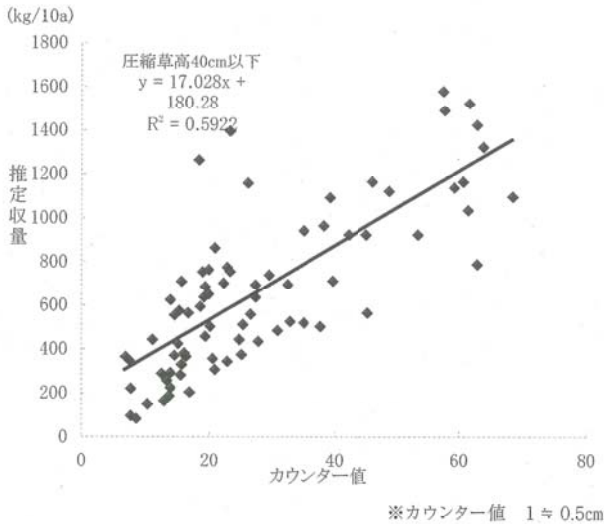


図2 市販RPMによる収量推定の検量線(生草)

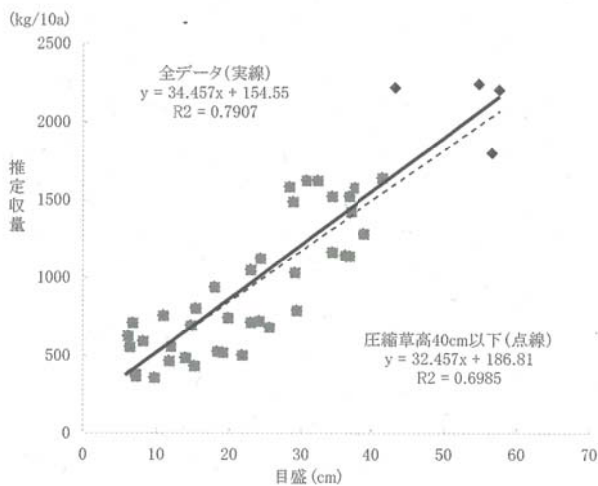


図3 自作草量計による収量推定の検量線(生草)

### (3) 自作草量計による収量推定精度の検証

各手法による測定で、収量の推定誤差を採草地・放牧地別に求めた(表3)。ほとんどの手法において、採草地よりも放牧地で推定誤差が大きくなった。

自作草量計は市販RPMに比べて、特に放牧地における精度が高く、検量線法で4~8%、ガンマ分布法で11~24%の改善が認められた。

各手法間の差を比較すると、検量線法(圃場法)は

採草地、放牧地とも8.9~14.6%と、安定して推定誤差が小さかった。ガンマ分布法は標準法と簡易法とあまり差がなかったが、どちらも放牧地で自作草量計を使用した場合に、推定精度が約20%向上する傾向が見られた。

### (4) 測定値をもとに収量を推定するプログラムの作成

#### A ガンマ分布法による収量推定シート

現在最も一般に普及している表計算プログラムがMicrosoft Excelであるが、Excelでは上述したガンマ分布の積分方程式を解くことは不可能である。しかし、(独)畜産草地研究所において堤ら<sup>2)</sup>はExcelを用いて近似的にこれを解析するExcelシートを作成している。これをもとにして、自作草量計による測定値を入力・解析するプログラムを作成した(図4)。使用法は以下のとおり。

- ① Excelプログラム「自作草量計ガンマ分布法収量推定シート.xls」を実行。メッセージが出たら、「マクロを有効にする」をクリック
- ② 自作草量計による測定値をC列に入力。測定数は1ほ場50~100点とする
- ③ 草量の少ない地点 $Q_1$ と多い地点 $Q_2$ の2か所について、それぞれの坪刈り枠内5点の草量計測定値と、坪刈り重量(現物)をF列に入力

表3 各推定手法の坪刈り法を基準とした推定誤差

		推定手法	採草地	放牧地
検量線法	圃場法	市販RPM	10.2%	13.2%
	圃場法	自作草量計	14.6%	8.9%
	一般法	市販RPM	11.3%	43.5%
	一般法	自作草量計	12.8%	34.8%
ガンマ分布法	一般法	市販RPM	14.9%	35.1%
	一般法	自作草量計	16.6%	14.0%
	簡易法	市販RPM	21.1%	38.2%
	簡易法	自作草量計	13.5%	14.0%
	目視法	目視法	19.8%	26.4%

- ④ 乾物収量を求める場合には、 $Q_1$ と $Q_2$ のサンプルを乾燥機に入れ、1日後の重量を量ってセルG33、34に入力する
- ⑤ 以上のデータから、推定収量計算に必要なパラメータ(N、 $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ 、 $\mu$ 初期値、 $P$ 初期値、牧草乾物率など)が自動で計算される
- ⑥ 「推定収量を計算」ボタンを押すと、マクロが起動される。Excelのソルバー機能により、④のパラメータ初期値を使って先のガンマ分布方程式を解くための反復

計算が行われる

- ⑦方程式の解が見つかったら、メッセージボックスで調査ほ場の10a当たりの推定収量と草量分布グラフが表示される

※新たに別ほ場のデータを分析する際には、すべての黄色セルの内容を消してから、再度入力する。

**B 検量線法による収量推定シート**

植生や測定条件によってはガンマ分布によらず、検量線法（一般法）により省力的かつ十分な精度で収量推定することが可能である。そこで、検量線作成・収量推定を自動化するシートを作成し、上記Aと同じブックに組み込んだ（図5）。使用法は以下のとおり。

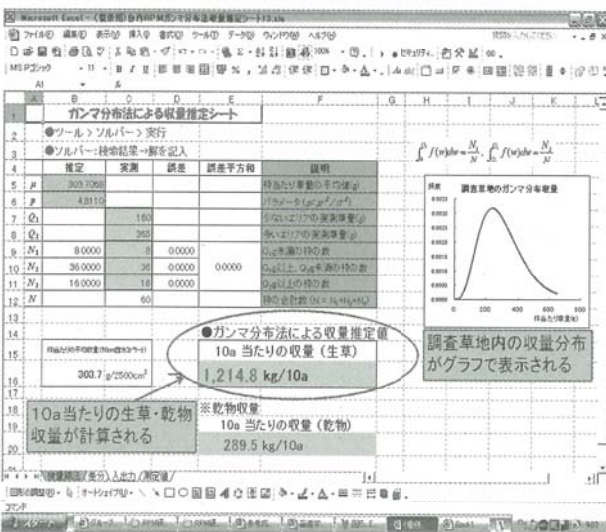


図4 ガンマ分布法による収量計算プログラム

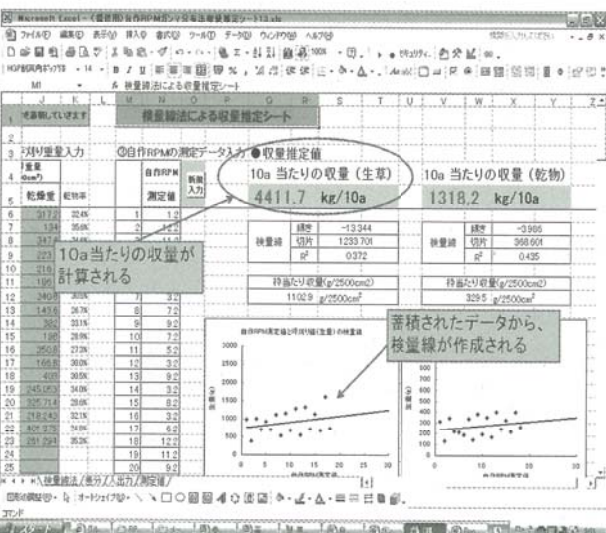


図5 検量線法による収量計算プログラム

※ 市販RPMは測定不能データを除いた集計値

- ① Excelプログラム「自作草量計ガンマ分布法収量推定シート.xls」を実行。メッセージが出たら、「マクロを有効にする」をクリック

- ②自作草量計による坪刈り枠内測定値5点の入力
- ③坪刈り重量（現物重量）、乾物収量を出す場合には乾燥重量を入力
- ④自作草量計によるほ場内測定値をN列に入力（50～100点）
- ⑤調査ほ場の推定収量（現物・乾物）、検量線の式、散布図が自動的に計算される

※別ほ場のデータを分析する際には、「新規入力」ボタンを押す。マクロにより黄色セルの内容が消去される。坪刈りデータ（青色セル）の内容は削除せず、データを蓄積する。最大100箇所の坪刈り値を登録できるが、20箇所程度の坪刈り値が蓄積され、検量線の寄与率が十分に高くなれば、その後は坪刈りをせずに自作草量計による測定のみで収量推定が可能となる。

**4 考察**

(1) 坪刈り法に代わる有効な推定手法

RPMの取扱説明書では、利用者が容易に収量を知ることができるように既に検量線が示されており、利用者はその式に測定値を入れるだけで10a当たり収量が分かるようになっている。これは、完成した1つの検量線をどの条件でも利用する方法という意味で、検量線法（一般法）を最大限に汎用化した方法といえる。しかし、この取扱説明書の推定式を利用した際の偏差平方和は坪刈り法の約11倍の値であり、とても実用的とはいえない。個々のRPMによって微妙に特性が異なること、地域の草種特性によって検量線は大きく異なることなどが、この原因と考えられた。よって、RPM測定値を検量線法で利用する場合、利用者自らが検量線を作成することは必須と考えられた。

実収量と比較した場合の偏差平方和の比較および測定にかかる作業時間から、RPMを使用した検量線法（一般法）又はガンマ分布法（簡易法）を採用することで坪刈り法以上の精度、かつ半分の作業時間で収量推定が可能であることが分かった。

(2) 草量計の自作と測定法の開発

自作草量計を低コストに製作する方法を考案した。自作草量計では市販RPMの問題点を、次のように解決することができた。

- ①材料費が約600円と安価である
- ②構造が単純なため容易に製作・修理できる
- ③圧縮草高約90cmまで測定でき、採草地を含めほとんどのほ場で利用可能である
- ④プレート部が約35%小さいため、短草型草地における地表面の凹凸の影響を受けにくい

また、測定精度についても十分であることが確認された。

今回作成したものは誰でも簡単に製作できるような設計にしたが、生産者等にも広く普及させるためには、これらを市販としてメーカーから安価に販売されることも必要と考えられる。

また、今回実用性が示唆された、検量線法（一般法）やガンマ分布法（簡易法）という収量推定手法は、基本的な仕組みさえ同じであればどのような材料・製作法で作った草量計でも、理論的には同じように分析ができる。つまり、自作草量計は今回示した材料や製作法にこだわる必要はなく、今後より効率的な形に改良していくことが可能である。

これまでに著者らは、今回の草量計を20個程度製作し、講習会等で県内の普及指導員などに配布したところである。そして、実際に現地で使用した指導員が、その地域の植生に合った形に草量計を改良して使用している事例も出てきている。

測定手順についても、坪刈り地点2点の決定方法、坪刈り前の枠内測定方法などで現地からの指摘がいくつかあり、プレート部の大きさや重さなどとともに、更なる改良の余地があると考えられる。

### (3) 各推定手法・条件下での自作草量計の有効性

各手法の精度を比較したところ、採草地よりも放牧地で推定誤差が大きくなった。これは放牧地が採草地に比べて侵入している草種が多く、牧草の株化や裸地が多いなどほ場条件が均一でないことが原因として考えられた。

自作草量計は市販RPMに比べて、特に放牧地での精度が向上した。これは次のことが要因となったと考えられる。

放牧地にはシバのような短草型草種が優占する箇所が多いが、そのような圧縮草高1~2cmとなるような場所の測定は、地表の凹凸の影響を大きく受ける。市販RPMは、自作草量計に比べてプレートの直径が7cm大きい(図1)。プレート面積を比較すると、自作草量計660.2cm<sup>2</sup>に対し、市販RPM1017.4cm<sup>2</sup>と後者が約54%大きい。つまり、短草型箇所では市販RPMのプレートは牧草ではなく地表面の凹凸の差に反応してしまい、正確な圧縮草高の測定が難しくなる。なお、このことは裸地が多い箇所や、オーチャードグラス等の株化が著しい箇所においても同様にいえる。

また逆に、放牧地ではワラビ・ギシギシなどの雑草や出穂して堅くなった牧草など、牛が摂食せずに繁茂している箇所も多い。市販RPMは前述のとおり、圧縮草高40cm以上は測定できないため、そのような箇所は欠測値となり、データから正確なほ場状態を把握することが難

しくなる。

表3の結果では、採草地では自作草量計と市販RPMの誤差間に大きな差が見られないが、これは圧縮草高40cm以上となり市販RPMで測定不可能であった数か所のほ場は、分析ができないために集計の際に除外してあることも影響していると考えられる。

以上の理由から、測定には放牧地・採草地とも自作草量計が利用可能であると考えられた。

測定データの分析の面では、検量線法はほ場ごとに個別の検量線を作成する圃場法で精度が高かったが、先の結果からも、圃場法は坪刈り法以上に労力のかかる方法であり、実用的とはいえない。しかし放牧地を検量線法の一般法で測定すると、約40%と推定誤差が非常に大きくなる。そのため、検量線法はある程度ほ場条件が均一な採草地（又は定点観測ほ場など）において、一般法で行う際に利用可能と考えられた。

(※定点観測地の検量線法は実質的な意味合いとしては、一般法ではなく圃場法となる。)

ガンマ分布法では目視法は誤差が大きかったが、通常法と簡易法ではあまり差がなかった。前述の結果(表2)からも、簡易法は作業時間が1/2で済むため、簡易法が実用的であると考えられた。

以上から、最も実用的と考えられる測定・収量推定手法をまとめると下記のとおりとなる。

- ・植生がある程度均一な採草地や定期的な定点観測地は自作草量計で測定し、検量線法（一般法）で収量推定する。
- ・放牧地や初めて測定するほ場は自作草量計で測定し、ガンマ分布法（簡易法）で収量推定する。

### (4) 収量推定プログラムの作成

上記までの結果で、自作草量計による測定の有効性が示されたが、続いてその測定値を用いた収量推定法を検討することが必要であった。

特にガンマ分布法は複雑な積分計算を必要とするため、簡易な手法とはいえない。そのため、誰でもが容易にこの手法を利用できるよう、自作草量計に対応した収量推定プログラムを作成した(図4、5)。

プログラムは測定値・坪刈り値等を入力しマクロを実行することで、ガンマ分布法や検量線法による推定収量が自動計算されるものである。

今回作成したプログラムは、ほ場の推定収量を計算することが目的であるが、同時に調査ほ場の空間的収量分布を確率密度関数としてグラフで表示されるようにしてある。ガンマ分布の形は収量平均 $\mu$ と不均一性の指数 $P$ によって決まるが、今後この分布の形も考慮することでさ



らに効率的な草地管理につながるものと期待される。具体的には  $P$  値と平均収量  $\mu$  から放牧地の可食部収量を知ること、 $P$  値と雑草侵入割合を関連付けて草地更新の必要性を判断することなどに応用できるものと考えられる。

## 5 摘要

- (1) 草量計を安価に自作し、省力的かつ十分な精度で収量を推定する方法を検討した。自作草量計は入手容易な資材を用い、材料費を約 600 円に抑えることができた。
- (2) RPM 検量線法、ガンマ分布法、目視法で収量推定精度と作業時間を比較した。自作草量計の測定値をガンマ分布法に当てはめる方法で特に推定精度が高かった。
- (3) 自作草量計の測定精度は回帰式の寄与率が 0.791 となり、市販ライジングプレートメータの 0.592 よりも高かった。
- (4) 単位面積当たりの測定作業時間は坪刈り法 23.7 分に対し、ガンマ分布法 (簡易法) は 11.0 分となり最も省力的であった。
- (5) 当技術を生産者・指導者が容易に利用できるよう、自作草量計の測定値から推定収量を計算できるプログラムを作成し、調査方法を体系化した。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、(独) 畜産草地研究所草地動態モニタリング室の板野志郎室長には、ガンマ分布に関して懇切丁寧なご指導を賜りました。また、同草地多面的機能研究チームの堤道生氏には本研究のもととなる草量推定プログラムを提供頂きました。心より感謝申し上げます。

## 引用文献

- 1) 小倉振一郎・長友洋平・平田昌彦. 2003. バヒアグラスおよびセンチピートグラス草地における草量の非破壊的推定法の検討: 静電容量プローブ、スワードスティックおよびライジングプレートの比較. 日本草地学会誌 49: 20 ~ 21
- 2) 堤道生・板野志郎. 2005. 表計算ソフトウェアを用いた塩見法による草量推定. 日本草地学会誌 51: 205 ~ 208
- 3) 堤道生・塩見正衛. 2003. ガンマ分布を用いた草量の空間分布解析. 日本草地学会誌 49: 275 ~ 279
- 4) Tsutsumi and Itano. 2005. Variant of estimation method of above-ground plant biomass in grassland with gamma model 1. Use of an electronic capacitance probe. Grassland Science 51: 275 ~ 279
- 5) Tsutsumi, Shiyomi, Sato and Sugawara. 2002. Use of Gamma Distribution in Aboveground Biomass of Plant Species in Grazing Pasture. Grassland Science 47: 615 ~ 618
- 6) 富松元・板野志郎・堤道生. 2008. ライジングプレートメーターを用いたシバ優占草地の草量推定に影響を与える要因の解析. 日本草地学会誌 54: 134 ~ 140
- 7) 平野清・中西雄二・小路敦・山本嘉人・北川美弥. 2008. ライジングプレートメーターを用いた冬季イタリアンライグラス放牧草地の草量推定. 日本草地学会誌 54: 72-73