

4. 竹の高さ・重量を推測する計算式の考察

静岡県立科学技術高等学校自然科学部
2 年 今優太 他 2 名

1 はじめに

私達は、科学技術高校の北側の谷津山も含め、日本全体で問題になっている放置竹林の竹を使ってバイオエタノールを作ろうと考えていた。また、今年、理科の先生のところ赤ちゃんが生まれたが、その際、胎児の身長・体重が母体内での超音波検査による胎児の腹位や大腿骨の長さの測定により正確に推定できる計算式があると聞き、興味をもった。そこで、バイオエタノールの材料である竹について、胎児の身長体重を推定するように、その一部を計測して竹 1 本全体の高さ・重量が推定できる計算式が求められないかと考えた。

2 研究の目的

- (1) 竹の特定の部位を測定して竹 1 本の高さ・重量を推測できる方法を探す
- (2) 竹の生育特性について調べる

3 研究方法

- (1) 調査地：科学技術高校北側にある谷津山の東側斜面のモウソウ竹の竹林
- (2) 調査方法

- ア 調査地点に水平投影面積 4 m^2 区間を 4 地点設置し、各地点に竹が何本生えているかを調べる。竹をランダムに 5 本選びできるだけ根元の部分を鋸で伐採し、伐採した竹をそれぞれ竹 1、竹 2、竹 3、竹 4、竹 5 とした。
- イ 稈の節と節の間に根元から順に番号をつけて、節ごとに鋸で竹を切った。節の部分で切ろうとしたが堅くて切りにくかったため、節の少し下部の所を切ることにした。切った各部分を節と呼ぶことにする。そして切った竹の節ごとに番号をつけ、節の長さ、外径内径、重量を測定し、密度を算出した。

表 1 4 m^2 あたりの竹の本数

4 結果

- (1) 4 地点における 4 m^2 あたりの竹の本数

調査した 4 地点の 4 m^2 あたりの竹の本数は

地点	1	2	3	4	本/ m^2
本数	5	9	5	4	5.75

平均で、5.75 本だった。グーグルマップで調べた谷津山東側斜面の竹林は水平投影面積が $2,738 \text{ m}^2$ なので、平均値をかけて、およそ 3,936 本が生えていると考えられる。

- (2) 節間長

測定結果を表に示した。図 1～5 では横軸が節番号、縦軸は節番号ごとの節間長を表し、図 6～10 では横軸が節番号、縦軸が節間長の累積を表す。

図 1～5 からどの竹も根元から途中まで節間長が増加していき、そのあとゆっくり減少していく傾向にある。図 6～10 より、節間長の累積のグラフは、緩やかな S 字型のロジスティック曲線となり、竹 2 以外は曲線の式を算出できた。

生物の成長曲線はS字型を示すものが多いが、竹の各節の節間長の累積も同じであることがわかった。

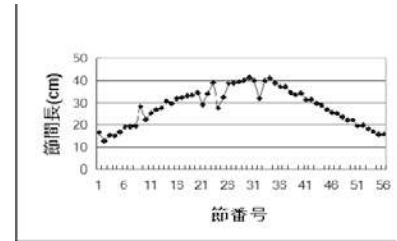
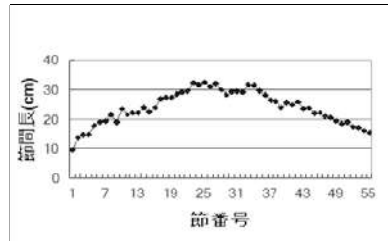
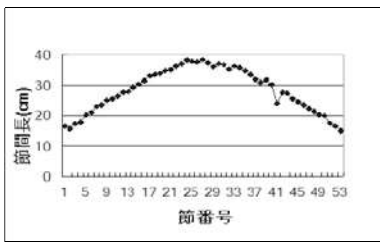


図1 竹1の節番号と節間長の関係 図2 竹2の節番号と節間長の関係 図3 竹3の節番号と節間長の関係

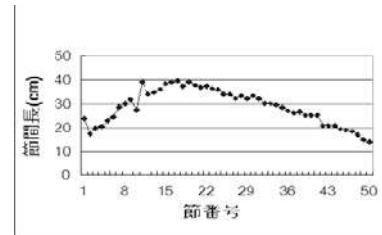
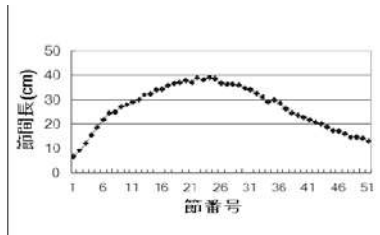


図4 竹4の節番号と節間長の関係 図5 竹5の節番号と節間長の関係

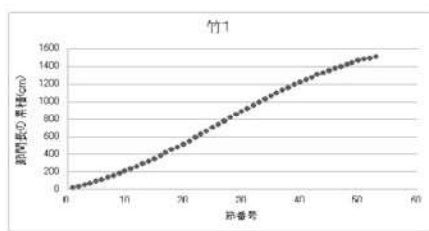


図6 竹1節間長の累積
S字型曲線の式

$$y = 1574 / (1 + 18.37 \times e^{-0.11x})$$

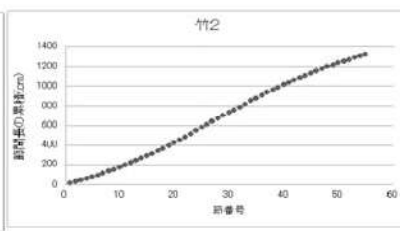


図7 竹2節間長の累積
S字型曲線では表せず

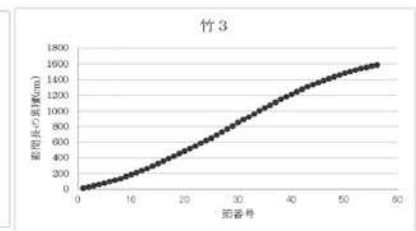


図8 竹3節間長の累積
S字型曲線の式

$$y = 1681.5 / (1 + 20.2 \times e^{-0.1x})$$

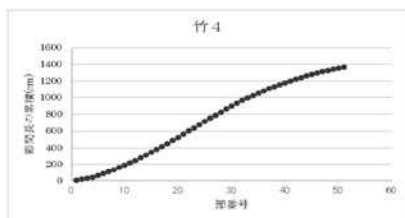


図9 竹4節間長の累積
S字型曲線の式

$$y = 1380.4 / (1 + 20.61 \times e^{-0.123x})$$

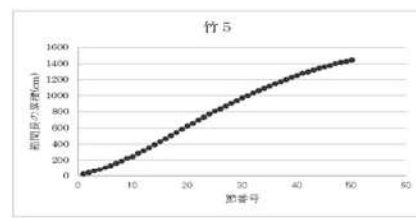


図10 竹5節間長の累積
S字型曲線の式

$$y = 1708.26 / (1 + 62.38 \times e^{-0.038x})$$

(3) 竹の形

外径値を等分し、X軸の正負で表しY軸を節間長の累積値とし、竹の稈全体の形をグラフ(図11)で表した。竹5では根元から13節まで(図5)外径はほぼ等しく、そこから上部はゆるやかに外径値が減少し、一定の割合で径が細くなっていく。外径の減少の割合を一次直線で近似した式を求めたところ、決定係数 R^2 は、どの竹も0.9を示し、直線であるといえる。

はじめは、伐採した竹の外観から竹全体の形を円錐形と仮定していた。しかし、グラフの結果からある節を基準にそこから上部が直線

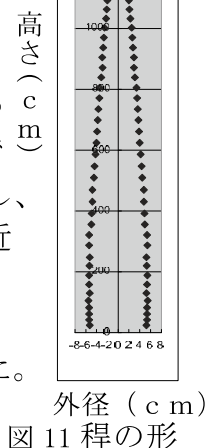


図11 稈の形

に近いため、上部の部分を円錐形として高さの推定をしようと考えた。

竹 5 の外径の減少の割合を一次直線で近似した式及び決定係数

竹 5	(13 節より上部の外径)	$y=220.11x+1525$	$R^2=0.9970$
-----	---------------	------------------	--------------

(4) 稈のみの重量

下図は節ごとの重量のグラフである。グラフの山の部分が竹の下部によっている。9～17 節のところに節の最大重量の部分が見られる。竹 1 本あたりの節の数の平均が 51.6 であることから、およそ竹 1 本には節が 51～55 本あると分かった。稈の全重量の半分の位置（根元より）が稈のみの重心の位置であり、竹 1 から 4 では 16、17 節めで、根元より重心の位置までの高さは平均して 373 cm であった。

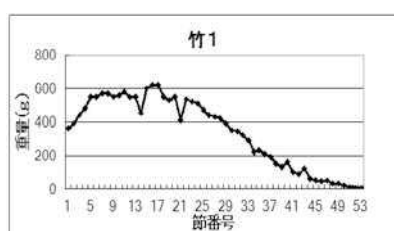


図 12 竹 1 重量

重心は根元より 8974 g、
17 節、412 cm の位置

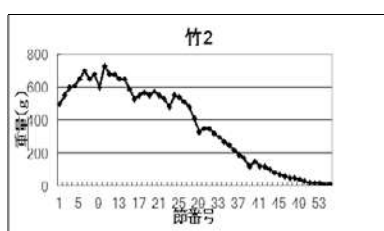


図 13 竹 2 重量

重心は根元より 10083 g、
17 節、337 cm の位置

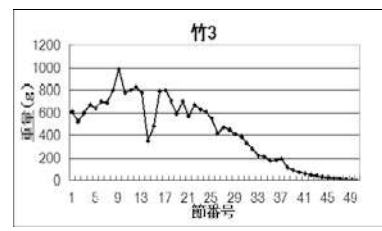


図 14 竹 3 重量

重心は根元より 10555 g、
16 節、335 cm の位置

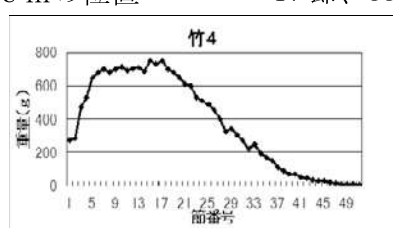


図 15 竹 4 重量

重心は根元より 9576 g、
16 節、379 cm の位置

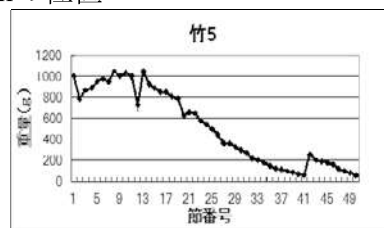


図 16 竹 5 重量

重心は根元より 12848 g、
14 節、391.6 cm の位置

(5) 竹 1 から竹 5 の生産構造図

生産構造図は層別刈り取り法により、根元より一定の高さごとに植物体を刈り取り同化部、非同化部に分けて乾燥重量を積み上げたものであるが、今回は節ごとに稈の乾燥重量（グラフの X 軸の右）、その稈から出ている枝と葉の乾燥重量（グラフの X 軸の左）、節間長の累積を Y 軸として表した。

枝葉の乾燥重量の合計値（A とする）÷全乾燥重量（B とする）×100（%）の値をグラフの下に記した。

考察 竹 1、2、3 では枝葉が出始めた節がそれぞれ 31、34、31 節で枝葉の全重量に占める割合がおよそ 10%、それに対し竹 4、5 では枝葉の出始めがそれぞれ 24、20 節からで、枝葉の全重量に占める割合が 20% となっており、より下部からの枝葉の出始めが枝葉重量の多さの原因となっている。グラフの左側枝葉の重量の合計がグラフ右側稈の重量と同じ程度になっており重量のつりあいがみられた。

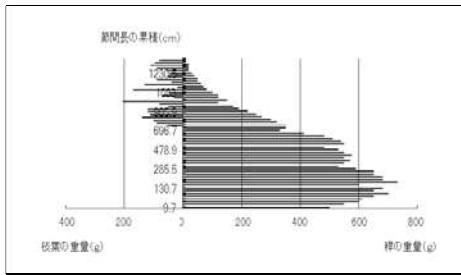


図 17 竹 1 の生産構造図

$$A \div B \times 100 = 9.7\%$$

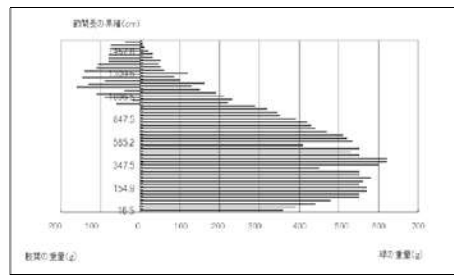


図 18 竹 2 の生産構造図

$$A \div B \times 100 = 8.7\%$$

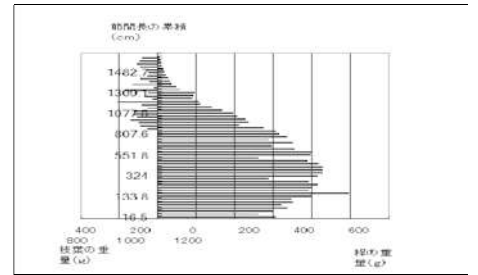


図 19 竹 3 の生産構造図

$$A \div B \times 100 = 7.7\%$$

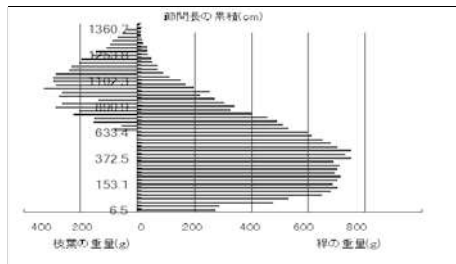


図 20 竹 4 の生産構造図

$$A \div B \times 100 = 21\%$$

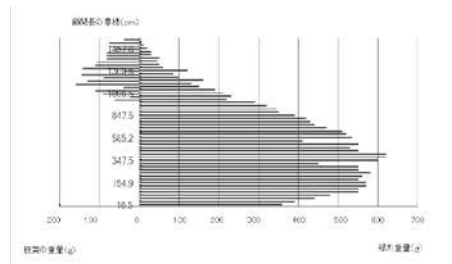


図 21 竹 5 の生産構造図

$$A \div B \times 100 = 22.8\%$$

(6) 竹の密度

切り取った竹の稈の重量、体積から求めた竹の密度は $0.95 \text{ g} / \text{cm}^3$ となった。

5 竹の高さを推定する方法

(1) 竹の高さを推定する計算式

計算式の考察 4 の (3) の竹の形の結果から竹を円筒形と円錐形から成り立っていると考え以下の計算式で高さを推定した。

図 22 で y_1 は外径の値がほぼ等しい円筒形の部分の高さ、 y_2 は外径が一定の割合で減少する円錐形の部分の高さ、 a は円錐形の最下部の外径、 b は a から x 節目の外径、 c は b から x 節目までの節間長を表している。

竹の高さ $H = y_1 + y_2$ 、 $a : b = y_2 : (y_2 - c)$ が成り立つので、式を整理して竹の高さ H の式に当てはめ、全体の高さ H の式を求め

た結果、 $H = y_1 + \frac{ac}{a-b}$ となった。

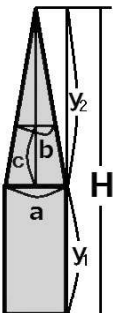


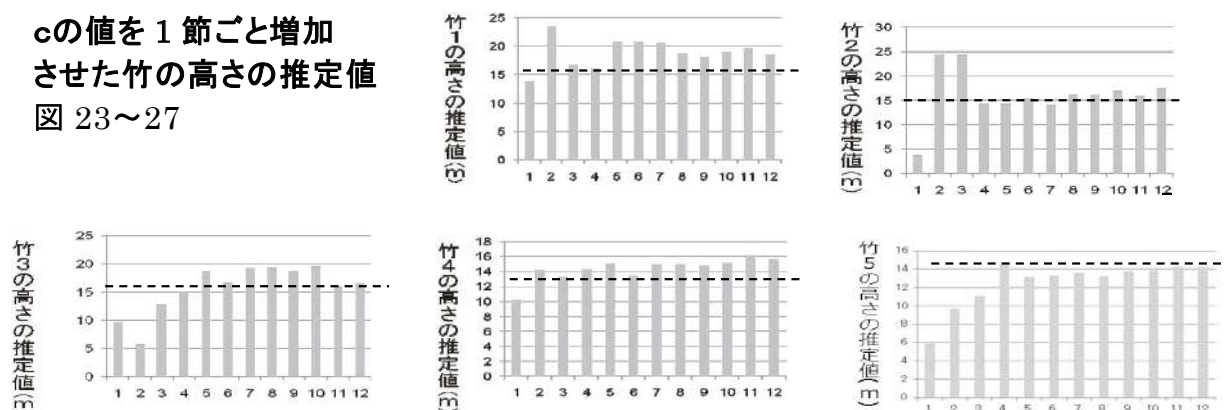
図 22 推定した稈の模式図

(2) 推定した竹の高さの推定値

図は c の値を 1 節ごと増加させた竹の高さの推定値を表わしたもので、横軸が円錐形の最下部から c までの稈の本数、縦軸がそれぞれの竹の高さの推定値、図中の点線がそれぞれの竹の高さの実測値である。なお、あまりにも地面より高い場所での値を使って高さの推定値を求めてもわざわざ竹を切り倒してその部分の値を測定しなければならないので実用的でないと判断し、円錐形の最下部から 12 本(およそ 3~4m)までの値を使って高さの推定値を求めることにした。

どのグラフも円錐形の最下部から 4 節目以降になると実測値にも近くなり推定値の値が安定していることが分かる。中でも最下部から 4 節目の値を使って求めた推定値はどの竹でも実測値に近似している。

**cの値を1節ごと増加
させた竹の高さの推定値**
図 23～27



6 重量算出式

(1) 内径を用いて、竹の重量を推定する

重量の算出式は、円筒形の体積 $V1$ + 円錐形の体積 $V2$ に、求めた竹の密度をかけると求めることができると推測した。 $V1$ 、 $V2$ の計算には高さの推定値を出すときに用いた a の外径、内径の値を用いた。

その結果、竹 1、2、4、5 は実測値に対して軽すぎ、竹 3 は実測値に対して重いという結果になった、節部分の重量を計算式に入れていないため値が少なくなるが、竹 3 では逆になっている。

(2) 内径を用いずに、竹の重量を推定する

重心の位置が根元から平均 373cm のところとであった。そこで内径の値を用いず、外部からの計測のみで竹一本の重量を推定するために、各竹のおよその重心の位置である 373cm までの稈の重量を算出しそれを 2 倍して全重量を推定したらどうかと考えた。重心の位置までの外径は 12cm から 8cm までであったため、測定した 5 本の竹について、竹 5 本の全外径値のうち、値が 12、11、10、9、8cm のものを選び、それらにつき、それぞれ節間長 1cm あたりの重量を算出した。(表 2)

あらたに竹の重量を推定するときは、根元から 373cm までの各節の外径、節間長を測定し、表 2 の値に節間長をかけていき、重心までの重量を求めそれを 2 倍するというわけである。

表2 節間長 1cm あたりの重量

外径 (cm)	節間長 1 cm あたりの重量 (g)
12	38.4
11	37.1
10	26
9	23.8
8	19.4

表3 竹の稈のみの重量推定値、実測値、差

	推定値 (g)	実測値 (g)	差 (g)
竹 1	18,494	17,948	546
竹 2	19,489	20,165	675
竹 3	23,943	21,110	2,833
竹 4	18,154	18,151	1,325
竹 5	27,478	25,696	1,781

7 今後の課題点

今回の高さ、重量の求め方の方法により、他の山のモウソウ竹について調べて適用ができるか調べる。

今回行った、高さや重量の求め方以外の方法で竹の高さ、重量を求める。

谷津山東側斜面のおよそのモウソウ竹の本数が求められたので、そこからできるエタノール量の算出を行う。(現在、切った竹からエタノールの生成の実験の途中)