一番茶芽生長の時系列平均

野菜・茶業試験場*

水野直美

(平成11年11月8日受理)

A Time Series Averaging Method for Description of the First Tea Crop

Naomi MIZUNO

National Research Institute of Vegetables, Ornamental Plants, and Tea

Summary

We proposed a new method to average time serieses, and analyse growth index of the first tea crop (rate of banjhi shoot, bud weight, bud length, leaf number).¹⁾ Traditional averaging, which is adopted in annual crop report, is a simple successive averaging of numbers of data at the same calendar day. A new method proposed here is done as follows. Data of an index of each year was fitted to a logistic curve. Time value of all the inflections of an index were averaged, and phase of all curve was shifted to the averaged inflection value. Function value from daily calculation of each curves was fitted again to a logistic curve with weighing by data number. We can use the resulted curves for prediction of growth and estimation of a growth index from another.

1 結 言

インターネット上で公開されている気象観測システムやアメダスのリアルタイムデータは農業上の各種予察、警報、シミュレーション、作業ガイドなどにきわめて有効であると考えられる。一番茶の摘採適期についても、基本的には個々の農家が圃場をきちんと観察していれば起き得ないはずの事態が最近全国的で一斉に起きている。たとえば、1998年の遅すぎた摘採による品質低下、1999年の早過ぎる摘採による減収などがあり、農家、流通

関係者がそれぞれ対策に苦慮している。このような事態は、信頼の置ける作業ガイドにより防ぎうるもので、その実用化が期待されている。

国公立の茶業試験研究機関では従来より、それぞれの場所の作況園におけるデータを、作況報告という形で公表してきた。長期間にわたる貴重なデータであるのでこれを利用した作業ガイドを作成しようとしたが茶芽の生長プロセスについての定式化された知見が十分でなく利用困難であった。そこで、まず一番茶の生長プロセスについてとりあえず過去

* 〒428-8501静岡県榛原郡金谷町金谷2769

のデータに基づき現時点で最も確からしい平均の時系列モデルを作成しようとした。しかしながら、従来作況報告で用いられている時系列の平均値としては、図1のAとBを平均する場合に、ある時点でのAとBを単純に平均して描いたCに相当するものが採用されてきた。実際にはこの様な生長を示す年は存在せず、予測などへの利用は困難である。ここでは、A、B時系列の平均はDであると定義し、かつ複数の生長指標間の相互参照を可能とするために、このような時系列平均を得る方法を開発することを目標とした。

2 材料及び方法

作況報告のデータは、摘採日、生葉収量、百芽重、芽数、出開度からなっている。作業ガイドは気象条件から、現時点のこれらの数値を予測を行うものとするため特に萌芽後の温度に影響されやすい百芽重、出開度に加え、芽長、葉数についてのモデルを作成するのが重要である。しかしながら、これまで公表されている研究では参考に出来る解析例は存在していなかった。

原田¹⁾は3年間にわたり茶芽の生長データ記録した。そのうち今回は、‘やぶきた’一番茶の出開度、平均全芽葉数(以下、葉数)、全芽芽長(以下、芽長)、全芽一芽重(以下、芽重)を対象とし、これらの時系列的な平均生長モデルを得ようとした。

植物の生長をあらわす場合にロジスティック曲線はよく使われるが、通常の表現形

$$y = \frac{X}{1 + ke^{-\lambda x}}$$

又はその微分方程式

$$\frac{dx}{dy} = \lambda y(X - y)$$

では何れもパラメータの栽培学上の意味が不明である。そもそも λ は生育初期の指数関数的な生長($y = e^{\lambda x}$)を近似するパラメータであり、 k は積分定数で $x = 0$ における残された生長余地を示す指標である。これらは何れも理論的ないし仮想的パラメータで、実際の現象レベルに直接現れるものではない。その

他この表現形には、種々の問題点があったため、

$$y = \frac{K}{1 + e^{\frac{4\rho(\tau-t)}{K}}}$$

という形²⁾で利用することとした。これはロジスティック曲線の変曲点($y = K/2$)に於ける微係数 ρ およびその出現時間 τ をパラメータとした表現形である。 y は何らかの生長指標であり、 K はその上限である。 t は時間であるが、この場合、4月の日付とした。従ってたとえば $t = 0$ は3/31であり、 $t = 10$ は4/10、 $t = 40$ は5/10となる。図1Dのような平均を求めるには、複数の生長曲線の τ の平均を求め、その値に生長曲線群の位相を合わせた上で第1図Cを求めたのと同様に平均化すればよい。

カーブフィッティングと図示には主としてGp³⁾を利用した。解の安定のために、 $t = -30$ 以下に生長指数 $= 0$ というデータを実データの個数を超えない範囲で適宜追加した。観測値時系列の最後の値に対するカーブフィッティングの際の標準偏差の百分率をCV*とした。ウェイトをかけたカーブフィッティングにはNOLLS⁴⁾を用いた。その他にREALbasicによる自作プログラムやMS-EXCEL等を利用した。

図1 時系列における平均

3 結 果

出開度、芽重、芽長、葉数について順次検討する。

3.1 出開度

出開度の計算結果は表1のようになった。パラメータの次元などは次の通りである。

K ：最終出開度(%), ρ ：出開度進行速度の最大値(%/日), τ ：変曲点(4月の日付)。出開度は100%を超えることはあり得ず、1954年の結果は明らかに異常であるが、これは生長過程後半のデータが無いことによる。つまり、1954年のデータからは K の値を算出するのは不可能である。1954年の K の値の推定値として最も確からしい情報は1956年、1957年の K 値の平均値であるので、 $K=92.3$ に固定して1954年データで再計算した。結果は、 $\rho=4.4$, $\tau=32.9$, $CV^*=6.9$ となった。これから、 τ の平均値 $\bar{\tau}$ は35.5となるので、この値を用い t の再マッピングを行った。つまり、1954年は原データの日付に2.6を加え、1956年は2を減じ、1957年は0.5を減じた。パラメータは直交するので表1の数値をこれらの値で書き換えれば希望する結果となるが、念のため、 t の値を変更したデータを用いてカーブフィッティングを行った結果を表2に示す。観測データには年次による違いがあり、1954年のデータは5点、1956年は同じ暦日の5点に加えその後の2点の計7点、1957年は以前とは全く異なる9点の測定が行われている。結果的に、 $t=23$ から $t=25$ は1954年と1956年のデータでカバーされ、 $t=26 \sim t=39$ には3年間のデータが存在し、 $t=40 \sim t=47$ は1956年と1957年の2年間分のデータがあり、 $t=48 \sim t=58$ は1957年のみのデータがあることになる。これらと再マッピングを考慮して、第2表のカーブフィッティングで得られた関数値からそれぞれのデータがカバーする範囲で日毎の平均値を求めた。再マッピング後の曲線データをLL1954の様に表すと目的とする値は、 $t=21 \sim t=25$ はLL1956、 $t=26 \sim t=41$ は3年間の平均、 $t=42 \sim t=45$ はLL1956とLL1957の平均、 $t=46 \sim t=57$ はLL1957のデータとなる。これらに対して、根拠となった年数に応じて1から3のウェイトをかけた最小二乗法で再びカーブフィッティングを行った。結果は $K=93.7$, $\rho=5.6$, $\tau=35.6$ であった。この得られた最も確からしい出開度の時系列モデルと、根拠になった各年の原データ及びそれぞれのカーブフィッ

ティングの結果を第2図に示す。これから、6%強の芽は最終的に出開かないこと、 $t=36$ に出開度50%となること、出開度の進行速度は最大で一日当たり5.6%であることがわかる。

表1 出開度の計算結果

年次	K	ρ	τ	CV^*
1954	298.7	8.7	48.4	6.6
1956	92.8	5.7	37.5	2.2
1957	91.8	6.5	36.0	2.1

表2 再マッピングデータの計算結果

年次	K	ρ	τ	CV^*
1954	92.3	4.4	35.5	6.9
1956	92.8	5.7	35.5	2.2
1957	91.8	6.5	35.5	2.3

図2 出開度時系列の平均

3. 2 芽 重

出開度と同様に①原データへのロジスティック曲線のあてはめ、② $\bar{\tau}$ による時間の値の再マッピングとパラメータ書き換え、③日毎の平均値とウェイトの算出、④ウェイトを考慮したロジスティック曲線のあてはめを行い、最も確からしい芽重の時系列モデルを求めようとした。①の結果を表3に示す。パラメータの次元などは次の通りである。 K ：最終芽重(mg), ρ ：芽重増加速度の最大値(mg/日), τ ：変曲点(4月の日付)。1954、1956年のデータは妥当な結果であるが、1957年はパラメータが異常である。実データを見ると、時系列の最後のデータ値が大きく、こ

れが悪影響を及ぼしていると考えられる。最後のデータが大きいのは、単なる確率的な変動、出開かない芽の生長、重さは長さの三乗に比例するので、生長の後半でそもそも著しい増大が見られるものであることなどが考えられるが、このデータからだけでは判断できないので、とりあえず最後のデータを除外し、かつ変曲点を視認できる $t = 42$ に設定して計算を行った。結果は $K = 191.9$, $\rho = 6.7$, $\tau = 42.0$ となったので、 $\bar{\tau} = 34.4$ とし②③④の処理を行い図3を得た。最も確からしい芽重の時系列モデルのパラメータは $K = 185.3$, $\rho = 4.7$, $\tau = 37.6$ であった。

表3 芽重の計算結果

年次	K	ρ	τ	CV^*
1954	113.7	2.3	25.9	2.2
1956	164.5	5.6	35.2	2.2
1957	1688.1	29.7	84.0	1.7

図3 芽重時系列の平均

3.3 芽長

上記と同様の処理を行おうとしたが、いずれの年もノイズのきわめて多いデータであり、解析結果が意味を持たないと考えられた。芽長もロジスティック的生長をするので、データは少なくとも単調増加性が強いはずであるが、実際にはそうになっていない。実収報告等でもこの様な例を見ることはないで、原因はサンプリング数が過小であったことではないかと思われるが、データ取得法について記載がなく、詳細は不明である。

では、この様なデータに基づく最も確から

しい芽長の時系列モデルとはどのようなものと考えてのが適切であろうか。この実験以外の情報を参考にしないのであれば、芽長以外のデータを何らかの形で参考にする以外に解決法はない。この観点から他のデータを見ると、芽重の単調増加性が良好である。出開度も利用可能であろうが、データの性質が他のものとはかなり異なるものであると考えられたため、芽重を参考情報とすることにした。しかしながら、芽重は体積に関連する量であり、芽長は長さの次元を持つ。従って、芽重の三乗根を求め、芽長との比の平均値を芽重から見た芽長の推定値と考えた。しかしながら、この推定値には芽重に含まれるノイズ成分以外に、推定法に基づく系統誤差が含まれている可能性がある。問題にした芽長データにはノイズが多いが、真の情報も当然含まれていると考えられるので、推定値と原データの平均値を解析用データとした。計算過程を表4に示す。まず芽重[b]の三乗根を求め[c]、芽長[a]との比[d]の平均値[e]を求めた。比[d]の値には、明瞭な系統誤差はないと考えられた。平均値[e]は1であったので、芽長の推定値は三乗根[c]をそのまま使い、これと原データ[a]の平均値を解析用データ[f]とした。念のため求めた原データと解析用データの差[g]にも系統誤差は存在しないと考えられた。

このデータを用い、①②③④を行おうとした。前項と同じ理由で1957年の最後のデータは計算対象としなかった。①の結果を表5に示す。パラメータの次元などは次の通りである。 K : 最終芽長(cm), ρ : 芽長増加速度の最大値(cm/日), τ : 変曲点(4月の日付)。これから $\bar{\tau} = 26.4$ となり、従前通りの処理の結果、最も確からしい芽長の時系列モデルのパラメータは $K = 5.1$, $\rho = 0.1$, $\tau = 17.1$ であった。結果を図4に示す。データ点は原データとし、各年の生長曲線は表4の補正に基づく表5の結果を使ったものを示した。

表4 芽長の解析用データの準備

年. t	芽長[a]	芽重[b]	$\sqrt[3]{b}$ [c]	$\frac{a}{c}$ [d]	$\frac{a+c}{2}$ [f]	$a-f$ [g]
1954.23	4.2	49	3.66	1.15	3.93	0.27
27	3.9	63	3.98	0.98	3.94	-0.04
31	4.9	66	4.04	1.21	4.47	0.43
35	4.2	76	4.24	0.99	4.22	-0.02
39	5.9	86	4.41	1.34	5.16	0.74
1956.23	2.0	30	3.11	0.64	2.55	-0.55
27	3.1	40	3.42	0.91	3.26	-0.16
31	4.0	59	3.89	1.03	3.95	0.05
35	5.0	75	4.22	1.19	4.61	0.39
39	5.4	105	4.72	1.14	5.06	0.34
43	6.0	131	5.08	1.18	5.54	0.46
47	5.8	132	5.09	1.14	5.45	0.35
1957.26	2.1	25	2.92	0.72	2.51	-0.41
30	2.7	38	3.36	0.80	3.03	-0.33
34	3.6	51	3.71	0.97	3.65	-0.05
38	3.6	62	3.96	0.91	3.78	-0.18
42	3.6	80	4.31	0.84	3.95	-0.35
46	4.1	116	4.88	0.84	4.49	-0.39
50	5.2	148	5.29	0.98	5.24	-0.04
54	5.7	172	5.56	1.02	5.63	0.07
58	5.9	238	6.20	0.95	6.05	-0.15
平均	—	—	—	1.00[e]	—	0.02
SD	—	—	—	0.17	—	0.34

表5 芽長の計算結果

年次	K	ρ	τ	CV^*
1954	5.5	0.1	14.2	3.8
1956	5.9	0.2	25.1	1.5
1957	8.0	0.1	39.8	2.5

図4 芽長時系列の平均

3.4 葉数

葉数も芽長と同じくノイズの多いデータであったので、同様に前処理を行い解析用データを得た。処理過程を表6に示す。芽長と同じく、芽重[b]の三乗根[c]の葉数[a]との

比[d]の平均値[e]を求めたところ、0.73であったので、三乗根[c]と平均値[e]の積を葉数の推定値[f]とし、これと原データ[a]の平均値を解析用データ[g]とした。比[d]及び、原データと解析用データの差[h]には

系統誤差は存在しないと考えられた。

このデータを用い前項と同じ処理を行った。①の結果を表7に示す。パラメータの次元などは次の通りである。 K :最終葉数(枚), ρ :葉数増加速度の最大値(枚/日), τ :変曲

点(4月の日付)。 $\bar{\tau}=21.1$ であり,最も確からしい葉数の時系列モデルのパラメータは $K=3.9$, $\rho=0.1$, $\tau=19.6$ であった(図5)。

3.5 生長指標間の相互推定

各生長指標の平均的モデルが求まったこと

表6 葉数の解析用データの準備

年, t	葉数[a]	芽重[b]	$\sqrt[3]{b}$ [c]	$\frac{a}{c}$ [d]	$c \times e$ [f]	$\frac{a+f}{2}$ [g]	$a-f$ [g]
1954.23	2.6	49	3.66	0.71	2.67	2.63	-0.03
27	3.1	63	3.98	0.78	2.90	3.00	0.10
31	3.2	66	4.04	0.79	2.95	3.07	0.13
35	3.4	76	4.24	0.80	3.09	3.24	0.16
39	3.2	86	4.41	0.72	3.22	3.21	-0.01
1956.23	2.5	30	3.11	0.80	2.27	2.38	0.12
27	2.5	40	3.42	0.73	2.49	2.50	0.00
31	2.8	59	3.89	0.72	2.84	2.82	-0.02
35	3.1	75	4.22	0.74	3.08	3.09	0.01
39	3.3	105	4.72	0.70	3.44	3.37	-0.07
43	3.6	131	5.08	0.71	3.70	3.65	-0.05
47	3.7	132	5.09	0.73	3.71	3.71	-0.01
1957.26	2.3	25	2.92	0.79	2.13	2.22	0.08
30	2.6	38	3.36	0.77	2.45	2.53	0.07
34	2.8	51	3.71	0.76	2.71	2.75	0.05
38	3.0	62	3.96	0.76	2.89	2.94	0.06
42	3.2	80	4.31	0.74	3.14	3.17	0.03
46	3.3	116	4.88	0.68	3.56	3.43	-0.13
50	3.6	148	5.29	0.68	3.86	3.73	-0.13
54	3.6	172	5.56	0.65	4.06	3.83	-0.23
58	3.5	238	6.20	0.56	4.52	4.01	-0.51
平均	—	—	—	0.73[e]	—	—	-0.02
SD	—	—	—	0.06	—	—	0.15

表7 葉数の計算結果

年次	K	ρ	τ	CV^*
1954	3.2	0.2	15.7	1.3
1956	4.2	0.1	21.7	1.9
1957	4.3	0.1	25.9	1.5

図5 葉数時系列の平均

により、これを利用して、ある時点 $[t]$ のある生長指標 $[K]$ から生長曲線の時間軸の位置 $[\hat{t}]$ を割り出せる。 $[\hat{t}]$ は $[t]$ とは異なり、生物学的時間ないし、仮想時間といったもので、気候や植物体の状態の平均的な性質を表すものである。更にこれを用いて他の生長指標の値を求めることも可能である。ある生長指標 $[y]$ から、生物学的時間 $[\hat{t}]$ を算出するには、

$$\hat{t} = \tau - \frac{K \ln\left(\frac{K}{y} - 1\right)}{4\rho}$$

を計算すればよい。得られた $\hat{t}$ を他の生長指標の計算式に代入すれば、その時点での値が求まる。計算用に有効数字の多いパラメータ値

を表8に掲げる。また、各生長指標がどのような関連をもって時間的発達を示すかを見るために、それぞれの最大値でスケールしたものを図6に示す。

図6 生長指標の相対変化

表8 各生長指標の平均モデル

指標	K	ρ	τ
出開度	9.3684860E+01	5.5585217E+00	3.5620907E+01
芽重	1.8532297E+02	4.6878724E+00	3.7575554E+01
芽長	5.0626278E+00	1.3887674E-01	1.7082516E+01
葉数	3.8924036E+00	8.2601801E-02	1.9562601E+01

4 考 察

図1の、A、B時系列において、従来広く行われてきたCを平均とする方法は、予測などに利用困難である。今回、平均値としてDを考える方法論を確立することが出来た。出開度、芽重、芽長、葉数の時系列平均が求まったので、これを用いた予測が可能となった。つまり、ある指標のある時点における値から、生物学的時間 $\hat{t}$ を求め、これに任意の日数を足して指標の値を計算すれば、それがその日の予測値となる。また、ある指標から、他の指標を推定するのは、同様に得られた $\hat{t}$ を他の指標のモデル式に代入することにより達成できる。

生長指標の時間的進行は、萌芽直後は葉数が先行し、ついで芽長が追隨して追い越し、その後芽重が増加するというパターンである。出開度は、生長後期に立ち上がり、短時間に他の指標を相対値として追い越す。これらの知見は、従来経験的に観察されてきたこ

とと合致するが、精度の高い内挿部分だけでなく、精度の保証がない外挿部分についての議論も入っているので注意が必要である。これは、今後データ例が増えることにより解消されるであろう。

本解析は、一番茶芽生長について行われたが、一番茶芽の一部、特に頂芽は長く伸長を続け、出開かない特徴を持つ。このためデータ取得は、採摘まで全芽摘採を行い、サイズ別にデータを取得する必要があると考えられた。

今後は、他のデータも最大限取り込み、「実測値を保持するモデル」の形でより信頼度の高いものに発展させたい。但し、実際の圃場の現象に「平均値」は出現しないことはいくまでもない。一番茶生長全体に対して、大きな影響を与えるものとして、たとえば栄養状態があろうし、短時間的に強い影響を与える要因として、気温があげられる。精度の高い平均値を基準とすれば、そこからの乖離を気温など他の要因と関連づけることが容易とな

り、シミュレータ⁵⁾の精度をより高めることが出来る。現在のシミュレータの改善と、作況報告の情報の利用により、農家の指針となるような作業ガイドを作成していきたいと考える。

5 摘 要

時系列の平均を求める新たな方法を提案し、一番茶芽の生長データ（出開度，芽重，芽長，葉数）のプロセス解析を行った。従来作況報告などに見られる時系列の平均は、単純にある暦日の複数のデータの平均値を順次計算したものであった。今回提案の方法では、ロジスティック曲線に適合するデータ群を変曲点の時間軸の値の平均値に位相合わせを行い、更にデータ点数による重みづけをした最小二乗法で全体の系列を平均化しようとするものである。この手法によって求められた平均時系列により、実際の生長の予測や、異なる指標間の推定が可能となった。

6 引 用 文 献

- 1) 原田重雄・増田清志・安間舜 (1960) : 茶葉の熟度に関する研究 (第1報) 一手摘緑茶の部一茶芽の摘採期と生育・収量との関係。東海近畿農業試験場研究報告茶業部, 7, 91-109.
- 2) 水野直美・加古舜治・榊原孝平 (1979) : パフィオペディルムの開花調節 (第3報) 冬咲性品種の発育・開花特性。園芸学会昭和54年度春季大会研究発表要旨, 318-319.
- 3) 枝松圭一 (1997) : Gp version 4.20.
<http://laser.mp.es.osaka-u.ac.jp/gp/>
- 4) TANABE, K., and S. UEDA. 1981. NOLLS1 VERSION OF MARCH 19, 1981.
<http://www.ism.ac.jp/software/products.html>
- 5) 水野直美 (1999) : 温度応答特性に基づく‘やぶきた’の新梢成長のシミュレーション, 茶業研究報告, 88 (別冊), 96-97.