

繰糸過程のモンテカルロシミュレーション

誌名	日本蠶絲學雜誌
ISSN	00372455
著者	三浦, 幹彦
巻/号	51巻3号
掲載ページ	p. 228-233
発行年月	1982年6月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



繰糸過程のモンテカルロシミュレーション

三浦 幹彦

上田市 信州大学繊維学部 (〒 386)

(1982年2月12日受理)

三浦幹彦：繰糸過程のモンテカルロシミュレーション, 日蚕雑, 51, 228~233, 1982.

原料繭特性と生糸品質との関係を知るための実験が容易に行える定繰繰糸のシミュレーションについて考察した。その結果, 原料繭特性と定繰繰糸の特徴とのモデル化によりシミュレーションの基本的アルゴリズムを開発した。また(1)繭糸繰度曲線が確率多項式モデルを用いたモンテカルロ法により作成できる, (2)繰製された生糸繰度波形を間欠的なサンプリング方式で検出することもできるし, また連続的に検出することもできる, シミュレーションプログラムを作成した。

Mikihiro MIURA: Monte Carlo simulation of the raw silk reeling process *J. Seric. Sci. Jpn.*, 51, 228~233, (1982).

A fundamental simulation method on the basis of a general algorithm was devised for many kinds of simulation experiments of the raw silk reeling process. Its characteristics are that cocoon filament curves are generated by a Monte Carlo method using random coefficient polynomial and that function of the continuous size detector is provided.

(Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University, Ueda, 〒 386)

繰糸の計算機シミュレーションは原料繭特性と生糸品質との関連を研究する場合に不可欠な手法であると目される。しかし, これまでシミュレーションを行う前に大量の繭糸繰度データを必要としたために, 少数の報告(嶋崎, 1961; 嶋崎・藤田, 1975)があるだけで, 繰糸シミュレーションに関する系統的な研究はまだなされていない。そこで, シミュレーションに際して繰糸条件を自由に設定できること, サンプリング式繰度感知方式と共に連続的感知方式でも繰糸できること, 繰糸に用いる繭を計算機で容易に作成できることを目標に大型計算機を使用するシミュレーションに関して考察を加えた。その結果, この目標を満足させるアルゴリズムとそれに基づく計算機プログラムを作成することができたので報告する。

本報告をまとめるにあたり, 有益なご助言とご校閲を賜った本学嶋崎昭典教授に厚く感謝申し上げます。

1. シミュレーションのためのモデル化

繰糸シミュレーションを行うには, あらかじめ原料繭特性と定繰繰糸の特徴とをモデル化しておく必要がある。原料繭特性については, 実際の繰糸実験の結果(三浦, 1977; 三浦・嶋崎, 1979)に基づき Table 1 のようなモデルを設定する。更に, このモデルを基礎にモンテカルロ法によって, 次の手順でシミュレーションに使用する繭糸繰度系列を作成する。

- (1) 多変量正規乱数により多項式係数 (b_0, b_1, \dots, b_u) と繭糸長 e を決める。
- (2) $y(l) = b_0 + b_1 l + \dots + b_u l^u$ を求め $y(l) \leq c_1$ ならば(1)へ戻る。
- (3) 区間 $[0, l]$ の任意の点 x で $y(x) > c_2$ ならば(1)へ戻る。
- (4) 対数正規乱数 ξ を作る。
- (5) 最高次の係数を

$$(\xi - b_0 - b_1 l \dots - b_{u-1} l^{u-1}) / l^u$$

本研究は文部省科学研究費(奨励研究)により行った。

Table 1. Modeling of properties of the cocoon

Properties of the cocoon	Model
First size of cocoon filaments	Normal distribution
Last size of cocoon filaments	Lognormal distribution
Length of cocoon filaments	Normal distribution
Length of cocoon filaments to the first occurrence of dropping end	Mixed distribution of exponential and normal
Size curve of cocoon filaments	Random coefficient polynomial

に置き換える。

(6) 区間 $[0, l]$ の任意の点で $y(x) > c_2$ か $y(x) < c_3$ ($c_3 < c_2$) ならば(1)へ戻る。

(7) $y(l) - y(l - \Delta x) \leq 0$ ならば(10)へ。

(8) $y(l) - y(l - \Delta x) > c_4$ ならば(1)へ。

(9) $y(l - \Delta x) - y(l - 3\Delta x) > 0$ ならば(1)へ。

(10) 繭糸織度曲線として採用し、時刻 t での繭糸織度を

$$y(t; x, z) = b_{0z} + b_{1z}x + \dots + b_{uz}x^u$$

とする。ここで x は t までに練られた繭の糸長、 z はその繭がどの原料集団に属するかを表している。また $c_1 \sim c_4$ はあらかじめ定めた判定基準を表す。

この方法を用いた理由は次の通りである。 (b_0, b_1, \dots, b_u) と l の同時分布は未知であるから、(1)のように第一近似として多変量正規分布を仮定した。この場合どのような曲線が得られるかを、錦秋×鐘和(1962)、春月×宝鐘(1973)、錦秋×鐘和(1975)の繭糸織度データから推定したパラメータを用い、確率係数多項式の次数を2~4に変化させて調査した。その結果、(I) 繭糸織度曲線とみなせる曲線、(II) 負の値が出てしまう曲線、(III) 最終部分が極端にしり上がりの曲線の三種類に分類できること。次数が大きいほど(II)、(III)の曲線は増加するが次数2のときはほとんど出現しないこと、次数4においても(II)、(III)の出現割合は30%以下であることが知られた。以上の結果から(II)、(III)の曲線を除いて繭糸織度曲線として用いることが先ず考えられたが、次の問題点が残った。すなわち(I)に属する曲線の最終値 $y(l)$ は実際の最終織度に比べてかなり大きなバラツキを示した。例として $u=4$ の場合を Fig. 1 にヒストグラムで示す。ただ

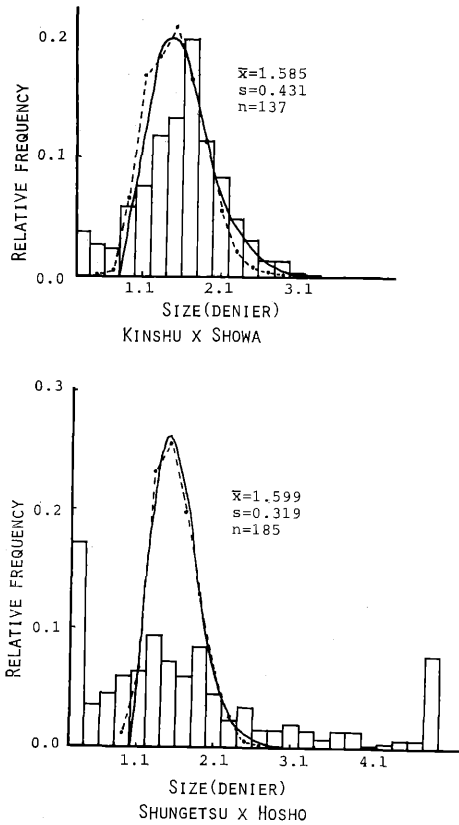


Fig. 1 Distribution of the last size of cocoon filaments.
Histogram: the last size obtained by multivariate normal random number ($n=500$).
—: a fitted lognormal density to the real measurements ($n=137, n=185$)
.....: the last size obtained by our simulation ($n=500$).

し、ヒストグラムの両端はその範囲をはずれた値が加わっている。また実線は実際のデータからモーメント法により推定した値をパラメータとした対数正規分布である。そこでこの不一致を補正するために手順(4)、(5)のように最高次の係数を修正した。ここで最高次の係数を選んだのは内層部、中層部を安定させ修正を小さく保つためである。この他に、チェビシェフ直交多項式を用いて全係数を総合的に修正する試みを行ったが、周期的影響が加わり好ましい結果は得られなかった。最高次の係数を修正した後、(6)~(9)の試行錯誤後によって曲線の選択を行うが、この操作によって定められた条件を満足しない曲線が排除されるので、この割合が多いと入力特性と異なった特性を持つ原料繭が作られる可能性がある。しかし、この場合には、(1)~(10)の手順によって作られた特性を原料繭の特性と考えれば、シミュレーションの有効性に問題はない。

原料繭特性に関する以上のモデル化に加えて、実際の定織線糸の特徴に基づき次のモデル化を行う。

[1] 線糸には r 種の原料 G_1, G_2, \dots, G_r を P_1, P_2, \dots, P_r ($P_1 + P_2 + \dots + P_r = 1$) の割合で混合した原料繭を用いる。

[2] ある時刻 t での生糸織度、粒付数、繭糸織度をそれぞれ $Y(t), n(t), y_i(t; x_i, z_i)$ ($i=1, 2, \dots, n(t)$) としたとき、

$$Y(t) = \sum_{i=1}^{n(t)} y_i(t; x_i, z_i)$$

$$0 \leq x_i \leq l_i, \quad z_i \in \{G_1, G_2, \dots, G_r\}$$

の関係が成立するものとする。

[3] 細限接緒織度を $LSCF$ 、織度感知器の検出誤差を e とすると、接緒は不等式

$$Y(t) \leq LSCF + e$$

が満足されたとき、 $f = t + \Delta t$ で生ずる。ただし Δt は細限接緒織度感知時点から接緒までの遅れを表す。

[4] 接緒要求に対しては、 k 個の繭が G_1, G_2, \dots, G_r から確率 P_1, P_2, \dots, P_r で選ばれる。ここで、 k は接緒失敗、正常な接緒、2粒付けに対応させ 0, 1, 2 をとるものとする。

[5] 接緒される繭は割合 p' の新繭と $1-p'$ の落緒繭を含む給繭器の中から選ばれる。新繭の場合、不時落緒発生率 p に等しい割合の繭に対して、

指数と正規の混合分布により繭糸上の落緒点を定める。落緒繭の場合、同じ分布により繰り始めの点を決め、(繭糸長—繰り始めまでの長さ)の繭糸が繰られるものとする。

[6] 落緒は繰られた繭の糸長 x が落緒点に等しくなったときに生ずる。

2. シミュレーションの基本的アルゴリズム

1で述べたモデル化のもとに線糸シミュレーションの実行方法について考察を加え、その結果得られたアルゴリズムを要約し、次に基本的な流れとして示す。ここでは織度感知器は連続的に織度を検出するとの仮定のもとに流れを示すが、従来の一定時間でのサンプリングによる織度検出は、この特別な場合として同じ流れに含むことができる。

はじめに流れを示す際に用いる記号を整理する。

e ; 織度感知器の検出誤差

f ; 接緒時刻

$LSCF$; 細限接緒織度

$m(f, t)$; 区間 (f, t) における落緒の数

N ; その時刻までに使用された繭の数

NT ; あらかじめ定めた繭の数

x ; その時刻までに繰られた繭糸長

$Y(d_i^-)$; 落緒直前の d_i における生糸織度

$Y(d_i^+)$; 落緒直後の d_i における生糸織度

Δt ; $LSCF$ 感知時点から接緒までの遅れ時間

ΔT ; 織度データの収集間隔

(基本的流れ)

0. [準備] $j \leftarrow 1, f \leftarrow -1, t \leftarrow 0$.
1. $t \leftarrow t + \Delta t$ とする。区間 $(t - \Delta T, t]$ を設定。
2. $m(t - \Delta T, t)$ の決定。 $M \leftarrow m(t - \Delta T, t)$ 。
3. $M \neq 0$ ならば 6へ。
4. $t - \Delta T < f \leq t$ ならば 10へ。
5. $x \leftarrow t - \Delta T$ 。29へ。
6. M 個の落緒生起点を時間順序に配列。
 $d_1 \leq d_2 \leq \dots \leq d_M$ とする。
7. $f \leq t - \Delta T$ ならば 19へ。
8. $f > t$ ならば、落緒に関する情報を収集し、32へ。
9. $d_i \leq f$ ($i=1, 2, \dots$) を満足する落緒に関する情報の収集。区間 $(f, t]$ を設定。
10. f で接緒を行う。

Table 2. Required parameters for starting simulation.

1.	Reeling speed (meter/minutes).
2.	Object size (denier).
3.	Limit size for cocoon feeding.
4.	Total number of cocoon used for simulation.
5.	Starting reeling cocoon number.
6.	Sampling interval of the size detector.
7.	Lag of feeding end.
8.	Failure rate of feeding end.
9.	Rate of feeding two ends.
10.	Rate of newly cooked cocoon in the cocoon supplier.
11.	Number of mixed groups.
12.	Rate of mixing.
13.	Mean vector and dispersion matrix of the size curve of cocoon filament.
14.	Mean and variance of the last size of cocoon filament (lognormal).
15.	Occurrence rate of unexpectedly dropping end.
16.	Occurrence rate of unexpectedly dropping end in the outer portion.
17.	Properties of cocoon filament length to the first occurrence of dropping end.
18.	Sampling interval for collecting the size of raw silk.

Table 3. Information obtained normally by our simulation program

1.	Mean vector and dispersion matrix of generated cocoon filament curves.
2.	Size of cocoon filaments in dropping end.
3.	Size of cocoon filaments in feeding end.
4.	Intervals of dropping end.
5.	Intervals of feeding end.
6.	Size of the raw silk.

Table 4. Information obtained by special commands.

1.	First size of cocoon filaments.
2.	Intervals of feeding required points.
3.	Changed points of cocoon reeling number.
4.	Generated size curves of cocoon filament.
5.	Non-broken length of cocoon filament.
6.	Size of the raw silk immediately before (or after) dropping (or feeding) end.

11. 接緒失敗ならば, $f \leftarrow f + \Delta t$ とし24へ。12. $N \leftarrow N + k$. $N \geq NT$ ならば終了。13. $m(f, t]$ の決定。 $M \leftarrow m(f, t]$ 。14. $M \neq 0$ ならば17へ。15. $Y(f) \leq LSCF + e$ ならば $f \leftarrow f + \Delta t$ とし31へ。

16. $x \leftarrow f$ 29へ。
17. M 個の落緒生起点を時間順序に配列。
18. $Y(f) \leq LSCF + e$ ならば $f \leftarrow f + \Delta t$ とし 8へ。
19. $i \leftarrow 1$
20. $Y(d_i) > LSCF + e$ ならば 22へ。
21. f を決定 8へ。
22. $Y(d_i) > LSCF + e$ ならば 27へ。
23. $f \leftarrow d_i + \Delta t$ 。
24. $m(d_i, t]$ の決定。 $M \leftarrow m(d_i, t]$ 。
25. $M = 0$ ならば 31へ。
26. M 個の落緒生起点を時間順序に配列。
27. $i \leftarrow i + 1$ 。 $i \leq M$ ならば 20へ。
28. $x \leftarrow d_M$ 。
29. $Y(t) > LSCF + e$ ならば 32へ。
30. f の決定。
31. $f \leq t$ ならば 10へ。
32. $j \leftarrow j + 1$ 。 $S_j \leftarrow Y(t)$ 。 1へ戻る。

3. プログラムの概要

2に示した流れを基本とする繰糸シミュレーションのフォートランプログラムを作成した。このプログラムを用いてシミュレーション実験を行うには、普通 Table 2 に示した値を入力しなければならぬ。結果として通常 Table 3 の項目が出力されるが、特殊情報収集の指定が可能で、種々の指定に応じて Table 4 の項目の出力ができる。Table 1 の確率分布に従う乱数作成の基礎となる一様乱数の作成には、東京大学大型計算機センターのライブラリープログラム(乗算型合同法によるプログラム)を用いた。また繭糸織度曲線作成に用いる多変量正規乱数は共分散行列のコレスキー分解 (TOCHER, 1967) を利用して発生させた。多項式の次数は 2~4 の値を指定することができる。シミュレーション実行中に、排除される曲線の数が多くなったときは、その時点でシミュレーションが中止され、入力パラメータの値が妥当でないというメッセージが出力される。またシミュレーション終了後には排除された曲線の数とどの検定で排除されたかの情報が出力される。混合できる原料は 3 種類までである。

4. 例

(1) 落緒生起のバラツキ度に関する調査

繰糸中の落緒生起は接緒生起と共に生糸品質に大きく影響するものと考えられる。ある特定の原料を用いた場合の落緒生起に関する考察はすでに実際の繰糸実験によりなされている (嶋崎, 1961; 三浦, 1977)。ここでは、原料繭の織度特性として 錦秋×鐘和 (1962), 春月×宝鐘 (1973) を用い、不時落緒発生率を 0.0~0.4 まで変化させた場合の落緒生起のバラツキ度 J をシミュレーション実験により調査した。

バラツキ度として落緒間隔の変動係数の 2 乗 (再生過程に対する COX (1966) のバラツキ度) を使用し、モーメント法による推定値

$$\hat{J} = \frac{m_2}{(m_1')^2}$$

を求めた。ただし、 m_1' 、 m_2 はそれぞれ原点まわりの一次の標本モーメント、平均値まわりの二次の標本モーメントを表す。その結果を Fig. 2 に示す。図中の $J=1.0$ における水平線は出現がポアソン分布に従うときの値である。また \hat{J} に対する近似的な平均値と分散

$$E[\hat{J}] = \frac{\mu_2}{(\mu_1')^2} + 0(n^{-1})$$

$$V[\hat{J}] = \frac{(\mu_1')^2(\mu_4 - \mu_2^2) + 4\mu_2^3 - 4\mu_1'\mu_2\mu_3}{n(\mu_1')^6} + 0(n^{-\frac{3}{2}})$$

から 95% 近似信頼区間を求め図中に示した。

この結果、落緒生起のバラツキ度は不時落緒発生が増加するにつれ大きくなって行くこと、比較的不時落緒発生が多いときにはポアソン発生となるが、解じょの良好な繭の場合にはポアソン発生よりもバラツキが小さいことが考察された。

(2) 落緒が直接原因となる接緒の割合

落緒が生じたとき、生糸織度が細限接緒織度以下になるのはどれくらいあるかは落緒と接緒との関係を調べる一つの方法と思われた。そこで(1)と同じシミュレーション実験によってその割合を求めた。その結果を Fig. 3 に示す。これにより原料繭により異なるが解じょが良い場合でも落緒の約半数から半数以上が接緒の直接原因となっていることが推察される。また不時落緒発生に伴い落緒に直接依存する接緒の割合は増加する。これは不時落緒により落緒時の織度が増加したためと考えられる。

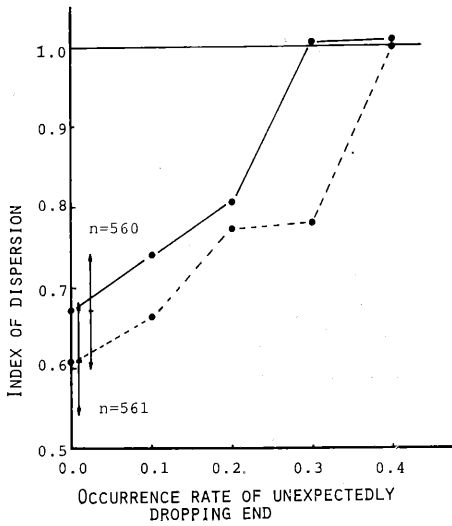


Fig. 2 Index of dispersion for the intervals of dropping end.
Object size: 27denier.
— · · : Kinshu × Showa.
···· · · : Shungetsu × Hoshio.
↓ : 95% approximate confidence interval at 0.0.

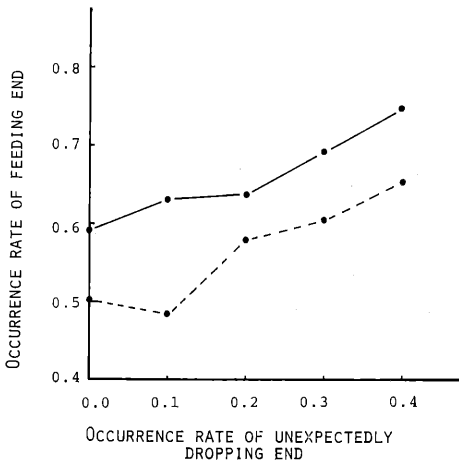


Fig. 3 Occurrence rate of feeding end directly caused by the occurrence of dropping end.
— · · : Kinshu × Showa.
···· · · : Shungetsu × Hoshio.
Object size: 27 denier.

文 献

COX D. R. and P.A.W. LEWIS. (1966): "The statistical

analysis of series of events," 285 pp., Methuen, London.

三浦幹彦(1977): 日蚕雑, 46, 93-98.

三浦幹彦・嶋崎昭典 (1979): 日蚕雑, 48, 497-504.

嶋崎昭典 (1961): 蚕試報, 16, 403-529.

嶋崎昭典・藤田史郎 (1975): 日蚕雑, 44, 111-116.

TOCHER, K.D.(1967): "The art of simulation," 184pp, The English universities Press, London.

注

\hat{J} の期待値と分散

$$\hat{J} = \frac{m_2}{(m_1')^2} \text{ から}$$

$$\frac{\partial \hat{J}}{\partial m_2^2} = \frac{1}{(m_1')^2}, \quad \frac{\partial \hat{J}}{\partial m_1'^2} = -\frac{2m_2}{(m_1')^3}$$

$$\frac{\partial^2 \hat{J}}{\partial m_2^2} = 0, \quad \frac{\partial^2 \hat{J}}{\partial m_1'^2} = \frac{6m_2}{(m_1')^4}, \quad \frac{\partial^2 \hat{J}}{\partial m_1' \partial m_2} = -\frac{2}{(m_1')^3}$$

$$= -\frac{2}{(m_1')^3}$$

$$\hat{J} = \frac{\mu_2}{(\mu_1')^2} + \frac{1}{(\mu_1')^2} (m_2 - \mu_2) - \frac{2\mu_2}{(\mu_1')^3} (m_1' - \mu_1')$$

$$+ \frac{3\mu_2}{(\mu_1')^4} (m_1' - \mu_1')^2 - \frac{2}{(\mu_1')^3} (m_1' - \mu_1') (m_2 - \mu_2) + \dots$$

ここで,

$$E[m_2] = \mu_2 + 0\left(\frac{1}{n}\right)$$

$$E[m_1' - \mu_1'] = 0, \quad E[(m_1' - \mu_1')^2] = \frac{\mu_2}{n}$$

$$E[(m_1' - \mu_1')(m_2 - \mu_2)] = \frac{\mu_3}{n} + 0\left(\frac{1}{n^2}\right)$$

から

$$E[\hat{J}] = \frac{\mu_2}{(\mu_1')^2} + 0\left(\frac{1}{n}\right)$$

また

$$\left\{ \hat{J} - \frac{\mu_2}{(\mu_1')^2} \right\}^2 = \frac{1}{(\mu_1')^4} (m_2 - \mu_2)^2 + \frac{4\mu_2^2}{(\mu_1')^6} (m_1' - \mu_1')^2 + \frac{9\mu_2^2}{(\mu_1')^8} (m_1' - \mu_1')^4 + \frac{4}{(\mu_1')^6} (m_1' - \mu_1')^2 (m_2 - \mu_2)^2 - \frac{4\mu_2}{(\mu_1')^5} (m_1' - \mu_1') (m_2 - \mu_2) + \dots$$

において

$$E[(m_2 - \mu_2)^2] = \frac{\mu_4 - \mu_2^2}{n} + 0\left(\frac{1}{n^2}\right)$$

$$E[(m_1' - \mu_1')^4] = 0\left(\frac{1}{n^2}\right)$$

$$E[(m_1' - \mu_1')^2 (m_2 - \mu_2)^2] = 0\left(\frac{1}{n^2}\right)$$

から

$$V[\hat{J}] = \frac{(\mu_1')^2 (\mu_4 - \mu_2^2) + 4\mu_2^3 - 4\mu_1' \mu_2 \mu_3}{n (\mu_1')^6} + 0\left(n^{-\frac{3}{2}}\right)$$

となる。