

蚕の吐糸行動特性の解明

○三浦幹彦・森川英明・岩佐昌征・中沢賢・木口憲爾・金勝廉介
信州大学 繊維学部 繊維システム工学科
信州大学 繊維学部 機能機械学科
信州大学 繊維学部 応用生物科学科

1. 緒言

著者らは営繭中の蚕の行動をモデル化し、モデルパラメータの値によって各品種を特徴づけたり、その動きをフレキシブル構築物の作製に利用する研究を進めている。そのため、これまでに様々な観点から蚕の行動特性を解析してきた。本研究では、蚕体を固定したときの体の向きを長時間に渡って測定し、固定位置およびその方向の時系列変化を調査した。さらに、この調査データを元に時間と蚕体移動距離、移動角度との関係の解析を試みた。

2. 方法

平均温度を 27 度に保ち蚕体上に 15 点のランドマークを付けたカイコ (品種: 大草×乞食) の営繭行動を撮影した。最初に、足場作りの時点からカイコの動きが見えなくなるまでの 10 時間 (ビデオテープ 5 本) の蚕体移動と蚕体後半部固定の時間を測定した。同時に、蚕が蚕体後半部を固定した時に、蚕体上につけたランドマーク点 7 から 15 までの 9 点を 10 時間測定した。この時、測定誤差を少なくするため各固定時ごとに 3 回繰り返して測定した。さらに、蚕の行動中心と行動の主方向を決めるため最後のテープ 1 本の約 2 時間について一秒ごとの吐糸位置を測定した。これらの測定データを基に 3DASBS (杉浦ら, 1994) を利用したグラフィクス解析および蚕体方向の時系列解析を行った。

3. 結果

蚕体固定方向の時系列変化

繭核形成時の 2 時間について採取した一秒ごとの吐糸位置データを用いて、楕円体をあては

める方法で蚕の行動中心と行動の主方向を算出した。吐糸位置と当てはめた楕円体を第 2 図に示した。その結果は行動中心(15.0mm, 20.1mm, 15.6mm), 主軸方向(61.4, 130.2)度であった。この値を用いて、もとの三次元座標からあてはめた楕円体の長軸と短軸を新しい軸とする新座標系に変換し、新座標系での蚕体各体節の固定方向を計算した。さらに蚕の尾部 (第 13 点) を原点に平行移動し、固定時における尾部から第 7 点までの蚕体後半部の平均方向を求めた。この平均方向分布を等高線表示した結果を Fig. 1 に示した。この結果、蚕体後半部固定方向が営繭領域の縮小により時間とともに吐糸営繭行動の主軸方向に集中してくる様子を的確に捉えることができた。また、行動の主方向に対して比較的同心円状に方向が分布することが明らかとなった。

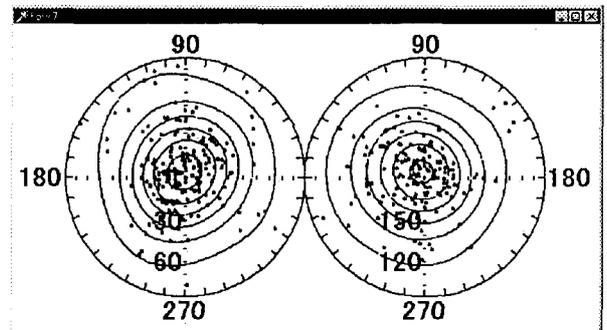


Fig. 1 Contour plots of mean directions of the hind parts of the silkworm body.

蚕体移動時間と移動角度との関係

次に、さらに移動特性を詳しく知るために移動時間と移動角度との関係を調査した。ただし、簡単にするため移動角度は次のように定義した。連続する二つの蚕体固定位置での後半部 (第 7 点から第 13 点) 蚕体平均方向のなす角度を移動角度 y とした。したがって、

$0^\circ \leq y \leq 180^\circ$ である。実験データから得られた両者の関係を Fig. 2 に示した。この関

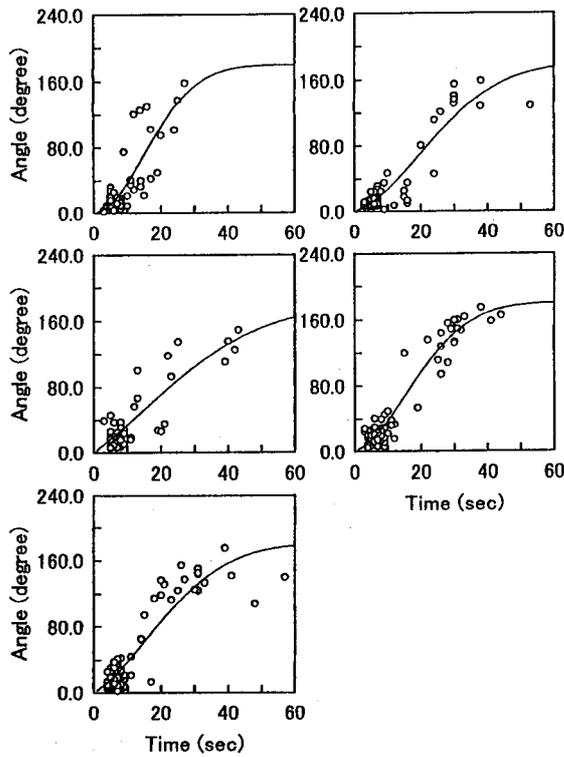


Fig. 2 Relationship between the moving time and moved angle.

係をモデル化するため簡単な式で表すことを考えた。ここでは、線形化が容易な次のような式を考えた。但し、 x は移動時間を表す。

$$y = 180(1 - e^{-\alpha_1 x + \alpha_2 x^2})$$

この式を線形化した

$$\log\left(1 - \frac{y}{180}\right) = \alpha_1 x + \alpha_2 x^2$$

を用いて最小二乗法により、この式をデータに当てはめた結果を実線で Fig. 2 中に示した。バラツキは大きいが上の式は両者の関係を適切に表しているものと考えられた。この結果、1秒間に約4度の割合で蚕体後半部の方向を変化させていることが明らかとなった。

吐糸位置に見られる変化パターン

新座標系で表した主軸方向での1秒ごとの吐糸位置の時間的変化(第5段階2時間)を Fig. 3(a)に、その自己相関係数のグラフを(b)に示した。コレログラムの図から明らかなように約754秒(12.5分)の疑似周期性を示した。これは繭核吐糸時には、蚕が周期的に繭の半分ずつを吐糸しながら繭を作る行動を示している。また、こうした吐糸営繭時の蚕体の反転パターンは、蚕体固定位置の変化、移動距離の変化に見られた疑似周期性の要因になっていると考えられた。

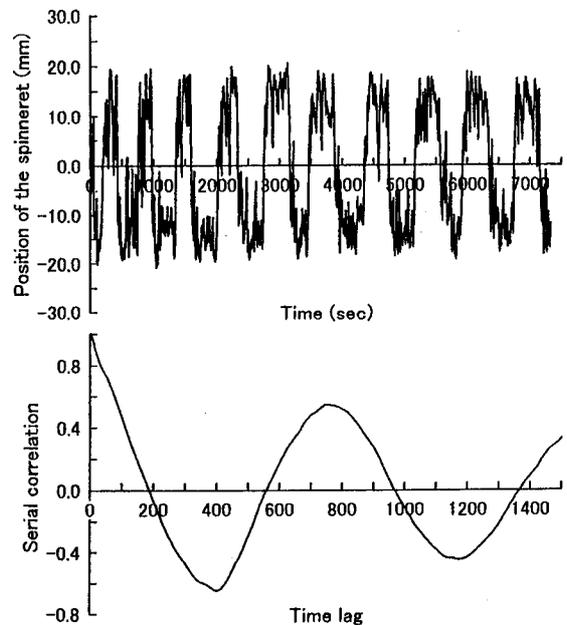


Fig. 3 The variation of the spun position on the major axis of the fitted ellipsoid. (a) The variation for the last two hours. (b) Serial correlation coefficients.

4. 考察

三次元空間内での吐糸営繭時の蚕の動きを、蚕体後半部を固定する位置と方向に注目して解析を行った。蚕は足場作りの段階では、体を箱の下の部分に多く固定させるが、これは実験に用いた箱が上方と正面に固定面がないためと考えられる。そのため、箱上方に足場をかけた後の行動には、このような現象が見られなかった。また、蚕体の固定方向が時間の経過とともに繭の長軸方向を中心として同心円状に分布するようになることから、蚕は足場作りが終わり、繭枠の形成が進むにつれて、吐糸領域内で各場所にバランス良く固定場所を決める傾向があることが推察された。また、吐糸領域が繭核の大きさに近づくにつれ、長軸方向での蚕体の反転パターンが顕著になるため、この反転に伴い体の固定点の位置にも周期性が生じると考えられた。さらに、蚕体の反転に要する移動時間が長いから、長い移動時間がこの反転パターンに応じて周期的に生じていると考えられた。蚕体の固定方向については、さらにモデル式を用いて移動時間から移動角度を推定できることが知られたが、まだ三次元内での方向を予測できるまでにはいたっていない。したがって吐糸営繭モデル作成にあたっては、三次元空間内での蚕体固定方向のモデル化および反転パターンをうまく表すような工夫が必要と思われた。