

方向統計学と動物移動生態学

Circular statistics and movement ecology

データ科学研究系 島谷 健一郎 (Kenichiro Shimatani)

動物の移動軌跡データ

動物装着型 GPS を用いる研究は、水中・空中・陸上を問わず、様々な動物について世界各地で盛んに行われている。GPS データには、動物がいつどこにいたのかという情報に加え、各時点における速さと方向を求めることで、どのように動いていたかという情報も含まれる。それは、いつどこで何をしていたかという推定につながる。

円周自己回帰モデル

速さに特徴的なパターンが見られなくても、方向には見られる場合がある。ここでは、方向とその変化に関する時系列モデルが基本的なデータ解析の道具となる。そこで基本となるのは、各時点で方向はランダムに変動するランダムウォークである。しかし、実際の動物の動きで多く見られるのは、巣や餌場などへ向かっていく動きや、ある場所の周辺をうろついているようなパターンである。こうした移動軌跡を表現するには、360 度で元の 0 度に戻るという方向データの特性を鑑みた、円周上の統計モデルが適している。そこで、Shimatani et al. (2012) では、Kato (2010) の円周自己回帰モデル (図 1a) の適用を提唱した。

この自己回帰モデルでは、目的変数は特定の方向 α に集中する傾向を示す。シミュレーションで順に方向を生成し、速さを一定にして軌跡データを作ると、ある方向に向う軌跡を描く。ランダムな変動には、von-Mises 分布などの円周上の確率分布を用いる。確率密度関数のグラフが尖がっていてランダムな変動が小さいと、目標方向へ向かって進む軌跡が得られる (図 1b ㉑)。変動の大きい確率分布を用いると、軌跡は震えながらゆっくり目標方向に進んでいく (図 1b ㉒)。言い換えると、確率分布の尖り具合を決めるパラメータは、行くべき方向へ向かう調整力という解釈を伴う。一方、自己回帰モデルの回帰係数 w の値が 1 に近いと、目標方向への集中が弱いため方向修正する効果が弱く、何かの拍子にあらぬ方向に向かうとしばらく進んでから元の方向に戻る (図 1b ㉓)。つまり、回帰係数 w は、その方向に向かおうという動物の意志の強さという解釈を伴う。なお、 $w = 1$ とするとランダムウォーク (動物行動では correlated random walk と呼ばれる) となる。

実際のデータが与えられたときは、最尤法などでパラメータを最適化することで、動物の意志の強さ、目標方向、方向の調整力に関する定量的評価を与えられる。また、 $w = 1$ としたランダムウォークと AIC などの情報量規準で相対評価することにより、動物が進みたい方向を持っていたのかどうかを検証できる。

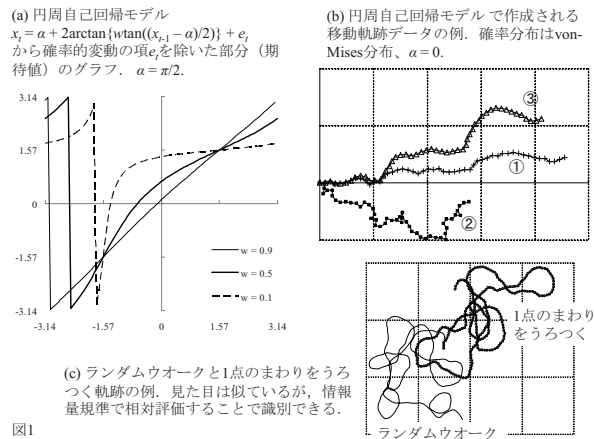
基本統計モデルが満たすべき条件

一般に、ある現象についてのある型のデータに関する統計モデルは、次の 3 つの条件を満た

しているべきである (Shimatani et al. 2012)。

1. 未知パラメータにその現象に関する定量的解釈が伴う。
2. 数学的あるいは数値計算で扱いやすい数式からなる。
3. 広範な現象に適用でき、状況に応じ適宜拡張できる。

上述したように、Kato (2010) の円周自己回帰モデルを動物軌跡に適用すると動物の行動に関する解釈を伴っており、1 を満たす。2 もよく知られた関数で尤度が書けるなど、数学的扱いも容易である。説明変数を、1 時点だけでなく 2 時点や 3 時点前まで含め、それらの線形和 (方向なので 1 度複素平面の単位ベクトルに直して線形和を取り、再び argument で方向に戻す) を使う式に拡張できる。すると、左に回り始めたらしばらく左に回るなどの、滑らかな軌跡を描く。さらに、集中させる方向を、特定の地点と各時点における地点を結ぶ方向にする (α は時間とともに変わる) と、特定地点の周辺をうろつきまわる軌跡を描ける (図 1c)。ここでは回帰係数 w は、その地点に留まりたい意志の強さといった解釈ができる。さらに、3 次元空間における軌跡へも、若干の修正で可能である (島谷 2015) など、Kato (2010) の円周自己回帰モデルは豊かな拡張性を有する。すなわち、3 も満たし、動物行動軌跡の方向に関する基本統計モデルとしての役割を担える。このように、方向統計学は動物の移動生態学 (movement ecology) に関する基本モデルを与え、様々な発展をもたらす可能性を有する。逆に、動物行動に関するデータは、方向統計学の発展を促す。両者は表裏一体となって相性よく発展していくと期待できる。



参 考 文 献

- Kato, S. 2010. A Markov process for circular data. *Journal of the Royal Statistical Society B* 72:655-672.
- Shimatani I.K., Yoda, K., Katsumata, N., Sato, K. (2012). Toward the Quantification of a Conceptual Framework for Movement Ecology Using Circular Statistical Modeling, *PLoS One*, doi:10.1371/journal.pone.0050309.
- 島谷健一郎 (2015) 3 次元軌跡データの基本モデルとその限界. *数理解析研究所講究録* 1940: 95-100.