

気温に応答するクマ出没数の数理モデル構築および地域性の理論的考察

牧野希良理（指導教員: 神山翼）

1 はじめに

近年、クマの人里への出没が社会問題となっている。クマの出没は、農業や林業への被害、建物の破壊、人身被害など、我々の生活へ甚大な被害をもたらすことがある。特に、2023年は全国的にクマの出没数が増加した傾向にあり、クマによる被害がメディアで頻繁に報道された。一方、2023年は気温が観測史上最も高くなるなど、「異常気象」という言葉を多く耳にする年でもあった。

そこで本研究では、クマの出没と気象条件との関係を調べ、クマの出没数を予測する数理モデルを作成する。特に、ブナ・ミズナラの堅果が凶作であるとクマが人里に多く出没することが知られており（谷口・尾崎 2003[1]）、本研究では東北地方におけるブナとクマの関係に注目し、理論的考察を行った。

2 データと方法

2.1 データ

クマのデータは環境省クマ出没数データ [2] を使用し、ブナのデータは東北森林管理局の豊凶指数 [3] を使用した。また、気象データは気象庁 [4] を利用した。

これらのデータは谷口・尾崎（2003）と整合的に、クマとブナで逆相関を示した（付録表 s1）。また、クマやブナと関係のある気象条件として、クマは同年9月の気温、ブナは前年9月の気温と最も強い相関が見られた（付録表 s2）。

2.2 方法

クマ・ブナ・気温を要素にもつ数理モデルを作成した。

- クマ増加量は前年のクマとブナで決まる
ブナ増加量は前年のブナと9月の気温で決まる

$$\frac{dK}{dt} = aK + bB$$

$$\frac{dB}{dt} = cB + dT$$

- クマ増加量は前年のクマと9月の気温で決まる

$$\frac{dK}{dt} = eK + fT$$

K : クマ, B : ブナ, T : 9月の気温, t : 時刻

a, b, c, d, e, f : 定数

以上のように、気温がブナを介して影響を与えているモデル1と気温が直接クマに影響を与えているモデル2の2通りのモデルを考えた。ただし、全ての時系列は平均を引いたのち標準化し、 $a \sim f$ は観測データの重回帰解析で決定した。

$i+1$ 年目の値を予測するために i 年目の増加率の計算には前進差分 ($h = 1 \text{ yr}$)

$$\frac{dK}{dt} = \frac{K[i+h] - K[i]}{h}, \quad \frac{dB}{dt} = \frac{B[i+h] - B[i]}{h}$$

を用いた。

3 結果

3.1 結果 1: 数理モデルの構築

重回帰解析で推定したパラメータ $a \sim f$ の値は表2のようになった。図1~4は、観測データと、前年の観測データから数理モデルで求めた当該年の予測値を折れ線グラフにして表したものである。

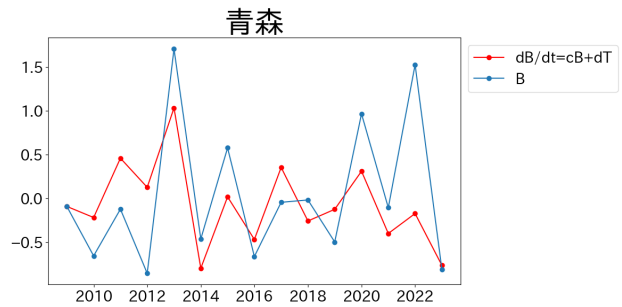


図1: ブナの数理モデルと観測データ（青森）

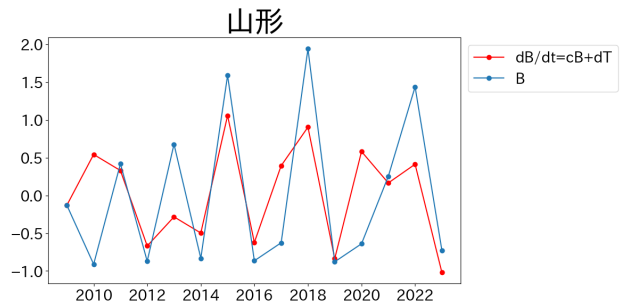


図2: ブナの数理モデルと観測データ（山形）

都道府県	相関係数
青森	0.590
岩手	0.650
宮城	0.560
秋田	0.631
山形	0.646

表1: ブナの数理モデルと観測データの相関係数

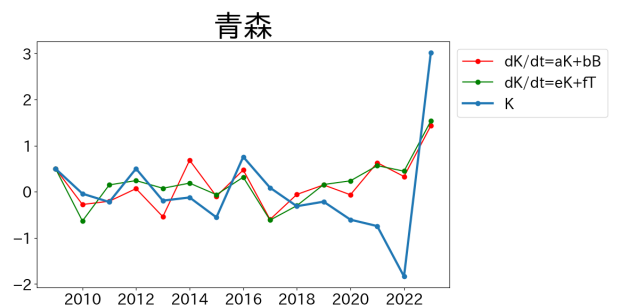


図3: クマの数理モデルと観測データ（青森）

都道府県	a	b	c	d	e	f
青森	-1.492	0.345	-1.486	0.227	-1.845	0.184
岩手	-1.098	0.420	-1.675	-0.057	-1.699	0.575
宮城	-1.179	0.301	-1.183	0.593	-1.303	0.045
秋田	-0.967	0.442	-1.608	0.166	-1.348	0.130
山形	-1.298	0.139	-1.654	-0.441	-1.619	0.424

表 2: 重回帰解析で推定した $a \sim f$ の値

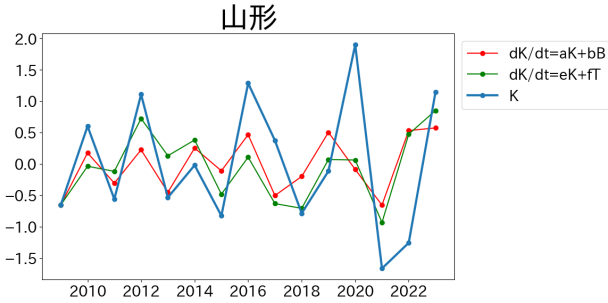


図 4: クマの数理モデルと観測データ (山形)

都道府県	$\frac{dK}{dt} = aK + bB$	$\frac{dK}{dt} = eK + fT$
青森	0.519	0.510
岩手	0.477	0.564
宮城	0.419	0.328
秋田	0.404	0.234
山形	0.426	0.525

表 3: クマの数理モデルと観測データの相関係数

グラフから山や谷になっている年が概ね一致している。このことから、作成した数理モデルでは大まかな値の予測ができることが分かった。

3.2 結果 2: 地域性の理論的考察

各県の $a \sim f$ の値を見たときに、 d 以外の符号がどの県も同じであった。そこで符号の違いに着目して、数理モデルの考察をする。

まずは、 $a \sim f$ の定数の選び方による数理モデルの振る舞いの違いを考える。そのために、先ほどのモデルで 9 月の気温を使用していた T に入れる値を、平均 0、標準偏差 1 の正規分布から作成した乱数であるホワイトノイズに変え、同時に B や K の初期値を 1 として、 $a \sim f$ の定数以外の部分を揃えた。これを用いて数値実験を行う。

$\frac{dB}{dt} = cB + dT$ の c と d の値を -2.0 から 2.0 まで 0.1 ごとに変化させ、 $\frac{dB}{dt} = cB + dT$ で求めた B とホワイトノイズである T との相関係数を図示した (図 5)。

図 5 から、定性的には

1. $c > 0$ のとき
2. $c < 0$ かつ $d < 0$ のとき
3. $c < 0$ かつ $d > 0$ のとき

の 3 つのレジームに分けられることが分かった。

まず c の符号について考える。 $\frac{dB}{dt} = cB + dT$ について、 $d = 0$ とすると、 $\frac{dB}{dt} = cB$ となる。この微分方程式を解くと、 $B = Ae^{ct}$ (A は定数) と書ける。この

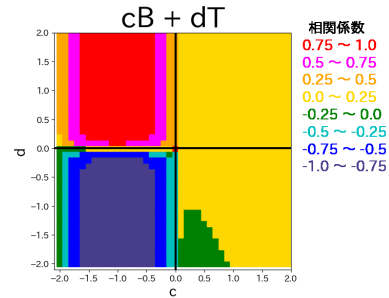


図 5: c と d を変化させた時の B と T の相関係数

ことから、 $c > 0$ のとき B は発散するので、ブナが増加し続けることとなり、不適である。一方で、 $c < 0$ のとき B は 0 に収束する (平均的に緩和する) ので、ブナは前年に沢山結実すると翌年はあまり結実しないという植物学的効果を表し、先行研究の通りとなるので、妥当である。

次に d の符号について考える。 $d < 0$ である岩手と山形は、表 1 よりブナの観測値と予測値の相関係数が大きく、ブナの植物学的効果以外の部分が気温でよく説明できることが分かる。よって、ブナと気温が同じ情報を持っていることが分かるので、ブナを要素として持たない $\frac{dK}{dt} = eK + fT$ のモデルで良い予測が出来た (表 3)。一方で、 $d > 0$ である青森、宮城、秋田はブナと気温が独立した情報を持っていることが分かるので、 $\frac{dK}{dt} = aK + bB$ のモデルの方が良い予測が出来た (表 3)。

4 まとめ

気温を要素として用いた数理モデルを作成することで、概ねクマ出没数の予測が出来た。また、係数の符号により、その地域のブナと気温の関係を考えると、岩手、山形はブナの豊凶が気温変動によってよく説明される県であり、気温の持つ情報のみでクマの出没数をよく予測できる。一方、青森、宮城、秋田はブナの豊凶が気温でよく説明されないため、ブナの観測データを合わせて用いた方がクマの出没数をよく予測できる。

参考文献

- [1] 谷口真吾・尾崎真也 (2003) 兵庫県氷ノ山山系におけるブナ・ミズナラの結実とツキノワグマの目撃頭数の関係. 森林立地 45: 1-6
- [2] 環境省 「クマに関する各種情報・取組」
- [3] 東北森林管理局 「ブナ開花・結実調査」
- [4] 国土交通省 気象庁 「過去の気象データ・ダウンロード」

A 付録

都道府県	相関係数
青森	-0.608
岩手	-0.487
宮城	-0.418
秋田	-0.423
山形	-0.711

表 s1: ブナとクマの相関係数

都道府県	クマと同年 9 月	ブナと前年 9 月
青森	0.428	0.365
岩手	0.584	0.183
宮城	0.331	0.374
秋田	0.379	0.231
山形	0.608	0.117

表 s2: 各変数と気温の相関係数