

令和元年6月19日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01217

研究課題名(和文) 気象要因にもとづくコナラ属樹木の空間的な豊凶推定技術の確立

研究課題名(英文) Development of the spatial prediction of acorn crops from Quercus spp. using meteorological factors

研究代表者

水谷 瑞希 (MIZUTANI, Mizuki)

信州大学・教育学部・助教(特定雇用)

研究者番号：20630354

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：クマ出没予測技術の高度化を目的として、気象要因などからミズナラとコナラの豊凶を空間的に予測する方法を検討した。一般化線形混合モデルを用いた解析により、前年度の着果量と前年夏、当年の春、夏の気象要因が豊凶に影響を及ぼすことが示されたが、予測はコナラよりミズナラで当てはまりが良かった。結実を阻害する気象要因に着目して構築した回帰木モデルでは、中部日本でクマ大量出没が発生した年に、ミズナラがほぼ全域で作柄不良であったことが推定された。このことから気象要因を用いて、クマ大量出没年にみられるようなミズナラの広域的な作柄不良の発生を、豊凶モニタリングよりも早い夏期に予測することができると思われる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題の目的は、クマ出没予測技術を高度化することである。2004年に発生した大規模なクマ大量出没を契機として、各地の自治体はクマ大量出没の予測を目的としたブナ科樹木の豊凶モニタリング調査を行ってきた。現在では秋期に、クマ出没傾向を予測できるようになりつつあるが、さらなる人身被害の軽減に向けて、より早期の豊凶予測技術の確立が期待されている。本課題により、クマ出没に影響するミズナラの豊凶を、実際の調査よりも早い段階で、気象要因を用いて予測できることが示された。これにより、クマ大量出没の発生をより早く予測できるようになることが期待される。

研究成果の概要(英文)：We investigated methods for predicting the acorn crops of *Quercus crispula* and *Q. serrata* using meteorological factors, with the aim of forecasting the probability of the mass intrusion of bears into residential areas. Analysis using a generalized linear mixed model showed that a combination of measurements of the acorn crops of the previous year, the weather factors of the previous summer, and that of the current spring and summer affect the acorn crops of a given year. The prediction model performed better for *Q. crispula* than for *Q. serrata*. Analysis using regression tree models focused on veto cues suggested that *Q. crispula* produced poor crops over a wide area in years which experienced mass intrusions in central Japan. These findings suggest that poor crops of *Q. crispula* over a wide area, such as those that occurred in mass-intrusion years, can be predicted from meteorological factors before the current summer, prior to field monitoring surveys.

研究分野：森林生態学

キーワード：ミズナラ コナラ ツキノワグマ 豊凶 マスティング フェノロジー クマ大量出没 野生動物管理

1. 研究開始当初の背景

ミズナラやコナラを含むコナラ属樹木では、個体ごとの種子（堅果）生産量が空間的に同調して大きく年次変動する、**豊凶現象（マスティング）**の存在が知られている（①）。このような豊凶の空間的な同調性は、広域的に作用する気象要因によってもたらされていると考えられている。コナラ属樹木の豊凶と気象要因との関連性に関する知見は国内では不足しているが、海外では複数の種で花芽から花、そして堅果までの各発達段階における気象条件（気温、降水量等）とコナラ属樹木の豊凶との関連性が報告されている（②）。これら樹種の堅果は栄養価が高く資源量も多いため、その豊凶は堅果を摂食する鳥類や哺乳類、昆虫類などの消費者の行動や、その個体群動態にも影響を及ぼす。またこれらの樹種は日本の森林でしばしば優占する樹種でもあることから、その豊凶は地域の森林生態系の挙動を明らかにする上でも重要な研究対象である。

ミズナラやコナラの豊凶がとくに注目されるのは、クマ大量出沒との関係についてである。クマの秋期の人里付近への出沒頻度には大きな年次変動があり、ときに**大量出沒**に至ることが知られている。クマ大量出沒には複数の要因が関与していると考えられるが、もっとも主要な誘因は、ブナやコナラ属樹木などの結実不良によって引き起こされる、山地の餌不足と考えられている。ブナが優占する東北地方では、ブナが凶作の年にクマ大量出沒が発生することが報告されている（③）。また、コナラ属樹木の優占度が高い中部日本以西では、ミズナラ（④）やコナラを含む複数の樹種（⑤）がクマ大量出沒の有無を左右する**鍵植物**（⑥）になっていると考えられている。

大規模なクマ大量出沒が発生し、大きな社会問題となった2004年以降、各地の自治体はこれら樹木の豊凶に重大な関心を払ってきた（⑦）。当初はクマ出沒予測に適用可能なモニタリング手法すら確立していなかったが、目視による豊凶評価手法が普及した結果、現在では都道府県単位での豊凶把握や、それにもとづくクマ大量出沒の発生予測が可能になっている。

しかし、現在のモニタリング手法では、クマ大量出沒の発生予測に必要な豊凶把握が可能な時期は、堅果類が十分に大きくなる晩夏～初秋に制限される。しかしより早期の被害対策のため、もっと早い段階で豊凶を予測したいという行政の要望は大きい（⑦）。また大規模なクマ大量出沒は都道府県を越えた広い範囲で発生するものの、近年では都道府県単位での豊凶傾向だけでは予測することが困難な、より狭い範囲でクマ出沒が頻発する状況も発生している。このため、よりの確かなクマ大量出沒の発生予測に向けて、より早期に、かつ高い空間精度でクマ出沒に影響する樹種の豊凶傾向を推定（予測）する技術の確立が求められている。

2. 研究の目的

これまでの研究からクマ大量出沒の有無は、中部以西ではブナだけでなくコナラ属樹木（ミズナラ、コナラ）の豊凶に左右されることがわかってきた。クマ大量出沒の発生予測に必要なこれら樹木の豊凶の予測・把握技術を高度化するため、本研究ではこれまでの豊凶モニタリング調査のデータを用いて、気象要因等と豊凶との関連性を明らかにし、豊凶傾向をより早期に、空間的に予測する手法を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 開芽フェノロジーの時空間変異の検討

コナラ属樹木の豊凶に気象要因が及ぼす影響を検討するには繁殖器官の生長段階、とくに開花期にあたる春期の定義を精査する必要がある。従来の解析では、暦上の一定期間（たとえば4月など）の気象値を代表値としていたが、広範囲で標高の幅も大きい地域を対象として空間的な解析を行う際には、フェノロジーの時間的・空間的変異が無視できない可能性がある。

本研究で対象とするコナラ属樹木2種（ミズナラ、コナラ）については、積算温量にもとづく開芽時期の予測モデルが提案されている（⑧）。そこで中部日本の20地点以上において、目視もしくはインターバルカメラ撮影により開芽フェノロジーを観測し、その時空間変異を明らかにし、また開芽時期予測モデルの妥当性を検証した。

(2) 豊凶に影響する気象要因の探索

コナラ属樹木2種（ミズナラ、コナラ）の個体ごとの結実量の継続調査データを用いて、その豊凶に関わる気象要因の検討を行った。供試した結実データは、2005年から2015年まで、福井県内の22地点（ミズナラ13地点、コナラ9地点）で観測したものである。毎年8月後半から9月前半の間に、個体識別した調査木を対象に、枝先50cm×幅20cmあたりの平均着果数（⑨）を目視で評価した。解析では、結実調査を6年以上継続し、その間に平均着果数が並作下限（⑨）以上となった個体（ミズナラ113個体、コナラ110個体）のデータを用いた。気象値はメッシュ農業気象データ（農研機構）の、3次メッシュごとの日気温から算出した。

解析はランダム効果として地点、個体を設定した一般化線形混合モデルを用いて行った。平均着果数から算出した着果指数を応答変数として、前年の着果指数、気温（前年夏、春、夏）、開芽日、降霜日数（春に最低気温が0度以下になった日数）を説明変数とした。気温は日平均、最高、最低の平均のうち、着果指数と相関が強いものを採用した。春の気温は暦上の期間（5月）のほか、開芽時期予測モデル（⑧）にもとづく開芽日を基準としたものを算出した。モデ

ルで用いる説明変数について、全ての組み合わせについて検討し、AIC 変量にもとづいて比較した。

(3) 気象要因にもとづく広域的な凶作傾向の推定

ミズナラは北陸地域において、ブナとともにクマ大量出沒を左右する、クマ出沒予測上重要な樹種である(④)。ミズナラの豊凶は資源(前年の着果量)と気象要因からある程度、予測可能であることが明らかになったが、このうち気象要因は、樹木の結実にとって『阻害キュー(veto cue)』として作用する(⑩)と解釈することができる。そこでミズナラの結実を阻害する気象要因を過去の結実データから探索し、広域的な凶作傾向の発生を推定するモデルの構築と検証を行った。

解析に用いた結実データは(2)のミズナラのものである。解析は回帰木モデルを用いて行った。3段階の作柄を応答変数として、前年の作柄と前年夏、春、夏の気象値(気温、日照時間)、開芽日などを説明変数としてモデルを構築し、予測の妥当性にもとづいてモデル選択を行った。

また広域的な凶作傾向を、回帰木モデルを中部日本地域に適用して推定した。中部日本地域では県ごとにある程度傾向の違いはあるものの、おおむね2004年、2006年、2010年および2014年にクマ大量出沒が発生した。

4. 研究成果

(1) 開芽フェノロジーの時空間変異の検討

2017年のミズナラの開芽時期(開芽盛期)は4月末から5月末までで、地点間の幅は1か月であった。コナラの開芽時期は4月中旬から4月末までで、地点間の幅は2~3週間程度であった。積算温量にもとづく開芽時期予測モデルによる開芽予測日と、目視等による確認日の差は、概ね一週間以内であった。また開芽時期予測モデルと過去の気象データにもとづくと、開芽時期にはミズナラでは3週間、コナラでは2週間の年次変異があることが推察された。このことから、コナラ属樹木の開芽フェノロジーには2,3週間~1か月程度の空間的・時間的変異があり、気象要因が豊凶に及ぼす影響を検討する際には、その違いを考慮する必要があることが示唆された。

(2) 豊凶に影響する気象要因の探索

ミズナラのベストモデルは、説明変数として資源(前年の着果指数)、気温(前年夏)、気温(春)、開芽日、降霜日数を含むモデルであった(表1)。春の気温は暦上の期間ではなく、開芽日を基準とした値が選択された。ベストモデルを用いて再構築した個体ごとの豊凶予測値の年次変動は、期間内に特徴的な豊作(2009年)や凶作(2006年、2010年)をよく再現していた(図1)。ミズナラでは、資源を除く説明変数は春までの気象値から算出可能であり、その豊凶の事前予測が可能であることが示唆された。

コナラのベストモデルでは、説明変数として資源、気温(前年夏)、気温(春)、気温(夏)、開芽日、降霜日数などを含むモデルであった(表1)。ミズナラとは開芽日を用いた説明変数の選択が少ないこと、夏の気温が選択されていることなどが異なっていた。ベストモデルを用いて再構築した個体ごとの豊凶予測値の年次変動は、実際と比べて画一的であり、ミズナラと比較して実態をうまく再現できていなかった。コナラの豊凶には、本解析で用いなかった気象要因や、それ以外の要因が影響している可能性が考えられる。

(3) 気象要因にもとづく広域的な凶作傾向の推定

回帰木モデルを用いた解析により、ミズナラの作柄に影響する気象要因として、a)前年7月の日照時間(SSD7)、b)最後に0度以下になった日(LDAY)、c)8月の日照時間(SSD8)の3つの説明変数が抽出された(図2)。説明変数として、これに前年の作柄を加えたモデルでは、モデルの正答率はより高かったものの、その低下量は2~3%程度であった。このことから、気象値のみを用いて、ミズナラの凶作傾向を事前に予測できることが示唆された。

回帰木モデルを広域にあてはめたところ、過去3回のクマ大量出沒年にはいずれも、ミズナラは広域的に凶作だったことが推定された(図3)。大量出沒年のうち2014年には、20%程度のメッシュで豊作と判定されたが、これはマイマイガの大発生(⑪)という気象要因以外の要因が、ミズナラの結実に影響を及ぼした可能性が考えられる。また社会問題化した一連の大量出沒の最初となった2004年については、前年7月の日照不足は過去30年間で最少の特異年であり、このことが一連のクマ出沒現象の引き金となった可能性が考えられた。

以上の結果から、本解析で抽出された気象要因はミズナラの広域的な凶作傾向の主要な要因であり、夏までの気象値を用いて、実際の豊凶モニタリング調査に先だって注目すべき広域的な凶作傾向の発生を予測できる可能性が示された。生物的要因など、豊凶に影響を及ぼす他の要因もあることから、この予測モデルのみを用いてクマ出沒予測を行うことは危険であるが、実際のモニタリング調査の実施に先立って凶作傾向の見通しをもつことができることは、クマによる人身被害を防止・軽減する上で有用と考えられる。

表1 樹種ごとのベストモデル（上位5つ）とそのAIC変量

樹種	モデル No	資源	気温(春)		気温(夏)	気温(前年夏)	開芽日	降霜日数	Δ AIC	説明変数数
			開芽日	5月						
ミズナラ	1	-**	-***			+***	-***	-***		5
	2	-**	-***		-ns	+***	-***	-***	1.9	6
	3		-***			+***	-***	-***	6.0	4
	4		-***		-ns	+***	-***	-***	1.3	5
	5	-**	-***			+***	-***		23.7	4
Null									300.1	0
コナラ	1	-***		+***	+***	+***	-**	-***	5.7	6
	2	-***		+***	+***	+***		-***	1.6	6
	3	-***	-**		+***	+***	-***	-***	7.3	5
	4	-***		+***	+***	+***	-***	-***	1.0	4
	5	-***		+***		+***		-***		81.7
Null									81.7	0

+/- : 係数の正負, ns: P > 0.05, **: P < 0.01, ***: P < 0.001

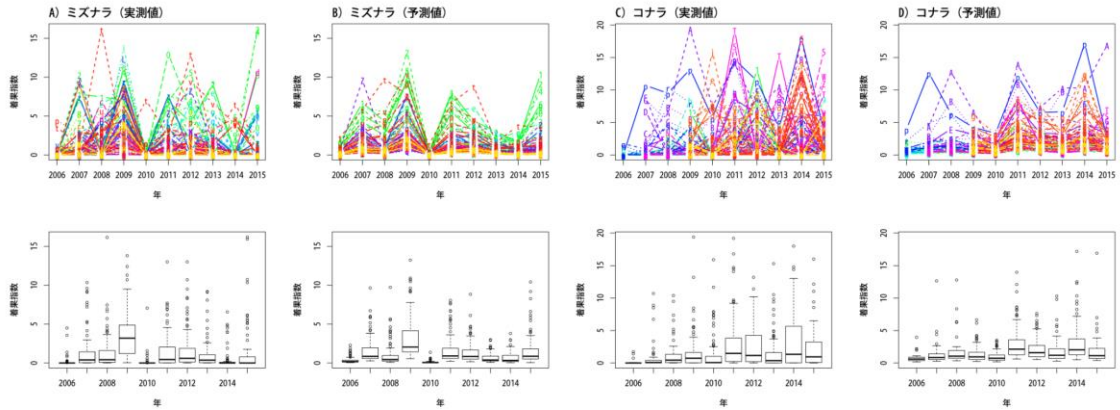


図1 樹種ごとの豊凶の実測値とモデルによる予測値

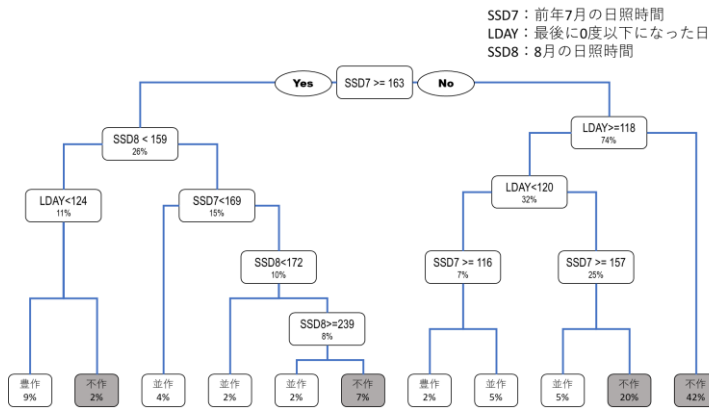


図2 回帰木モデル

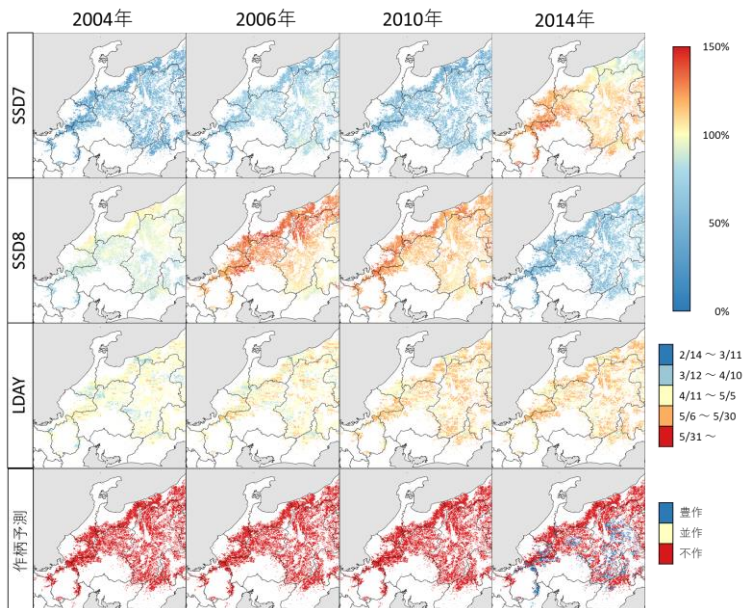


図3 クマ大量出没年における気象要因と回帰木モデルによる作物予測の空間分布

<引用文献>

- ① Kelly D (1994) The evolutionary ecology of mast seeding. *Trends in ecology & evolution* 9:465-470.
- ② Koenig WD, Knops JM (2014) Environmental correlates of acorn production by four species of Minnesota oaks. *Population Ecology* 56:63-71.
- ③ Oka T, Miura S, Masaki T, Suzuki W, Osumi K, Saitoh S (2004) Relationship between changes in beechnut production and Asiatic black bears in northern Japan. *The Journal of wildlife management* 68:979-986.
- ④ 水谷瑞希・中島春樹・小谷二郎・野上達也・多田雅充 (2013) 北陸地域におけるブナ科樹木の豊凶とクマ大量出没との関係. *日本森林学会誌* 95:76-82.
- ⑤ Fujiki D (2018) Can frequent occurrence of Asiatic black bears around residential areas be predicted by a model-based mast production in multiple Fagaceae species? *Journal of Forest Research* 23:260-269.
- ⑥ 正木隆 (2011) 大量出没年の予測. (ツキノワグマ出没予測マニュアル, 大井徹ら編. 森林総合研究所). 7-18.
- ⑦ 水谷瑞希 (2013) 特集にあたって (<特集>北陸3県におけるクマ大量出没予測のためのブナ科樹木の豊凶モニタリング調査の取り組み). *日本森林学会誌* 95:42-44.
- ⑧ 藤本征司 (2008) 気温変動が暖温帯域の樹木の葉フェノロジーに与える影響の予測. *保全生態学誌* 13:75-87.
- ⑨ 水井憲雄 (1991) 種子重-種子数関係を用いた落葉広葉樹の種子の結実豊凶区分. *日本林学会誌* 73:258-263.
- ⑩ Pearse IS, Koenig WD, Kelly D (2016) Mechanisms of mast seeding: resources, weather, cues, and selection. *New Phytologist* 212: 546-562. doi:10.1111/nph.14114
- ⑪ Nakajima H (2015) Defoliation by gypsy moths negatively affects the production of acorns by two Japanese oak species. *Trees* 29:1559-1566.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

- ① 水谷瑞希 (2018) ミズナラ, コナラの開芽日の地理的変異とその予測モデルの適合性 (予報). *中部森林研究* 66:27-28. (査読あり)
- ② 水谷瑞希 (2017) 福井県におけるマイマイガの大発生とその終息. *中部森林研究* 65:83-84. (査読あり)

[学会発表] (計6件)

- ① 水谷瑞希 (2019) 広域的なミズナラの凶作をもたらす気象イベントの探索. 第66回日本生態学会大会. 神戸国際会議場 (神戸市), 2019年3月18日.
- ② 水谷瑞希 (2018) ミズナラ, コナラの開芽フェノロジーの空間的・時間的変異. 第129回日本森林学会大会. 高知大学 (高知市), 2018年3月27日.
- ③ 水谷瑞希 (2017) ミズナラ, コナラの開芽日の地理的変異とその予測モデルの適合性. 第7回中部森林学会大会. 福井市地域交流プラザ (福井市), 2017年10月21日.
- ④ 水谷瑞希 (2017) ミズナラ種子生産の年次変動に影響する気象要因の検討. 第128回日本森林学会大会. 鹿児島大学 (鹿児島市), 2017年3月28日.
- ⑤ 水谷瑞希 (2017) ミズナラ, コナラの豊凶に影響する気象トリガーの探索. 第64回日本生態学会大会. 早稲田大学 (東京), 2017年3月16日.
- ⑥ 水谷瑞希 (2016) 福井県におけるマイマイガ大発生とその終息. 第6回中部森林学会大会. 三重大学生物資源学部 (津市), 2016年10月22日.

6. 研究組織

(1) 研究分担者

なし

(2) 研究協力者

なし

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。