

氏名(本籍)	山内寛之(兵庫県)
学位の種類	博士(学術)
学位記番号	甲第61号
学位授与年月日	平成26年9月30日
学位授与の要件	学位規則第3条第2項該当
学位論文題名	地震の直前予測へ向けた動物の前兆的行動に関する研究
論文審査委員	(主査) 太田光明 (副査) 柏崎直巳 滝沢達也

論文内容の要旨

日本を含み、これまでに多くの国が地震による多大な被害を受けてきた。また、近い将来、東南海地震・南海地震の発生が危惧されており、マグニチュード(M) 8から9の巨大地震が緊迫していると考えられている(地震調査研究推進本部, 2013)。地震がいつ、どこで、またどのような規模で発生するかを予測し、その情報を適切に発信することができれば、多くの被害を低減できる。そのため、地震の数ヶ月前から直前にかけて現れる前兆現象の利用を含めた「短期地震予知」に関する研究が進められているが、現時点におけるこれらの実現は困難であると認識されている。

これまでに、地震の発生前には様々な物理的・化学的現象の異常や変化に加え、多くの動物種における行動変化も報告されてきた。このような動物の地震前兆的行動は、地震発生前に生じる何らかの物理的・化学的現象の異常や変化に対する、いわゆる「ストレス反応」の結果であると考えられている。動物が何に反応しているのかが具体的に明らかになれば、機械的にその現象を観測できるが、今のところ実現していない。前兆的行動は地震発生の1週間前から現れ始めるケースが多い(Buskirk *et al.*, 1981) ことから、地震前兆に現れる動物の変化を客観的指標により捉えることができれば、地震予知に対する一つのパラメーターとなる可能性がある。本研究は、地震の前に現れる動物の変化が地震予知に利用可能であるかを検証するため、これらの変化を様々な手法を用いて調査した。

第一章 「東北地方太平洋沖地震」に関連した地震前兆的行動の横断調査

一般家庭で多く飼育されている犬や猫に焦点を当て、2011年3月11日に発生したモーメントマグニチュード(Mw) 9.0の「東北地方太平洋沖地震」の前に地震前兆的行動が現れていたかどうか、またどのような行動が多かったのかをwebアンケートによって調査した。その結果、犬において18.7%(236/1259)、猫では16.4%(115/703)が地震の前に行動変化していたことが明らかとなり、行動変化を示した動物の半数以上は地震の24時間前までに変化を示していた。また1日以上前に行動変化を

示した動物は、行動変化を示した全体のうち、犬で 23.3%、猫で 25.0%であった。また変化した行動に関して、「落ち着きをなくす」行動がどちらの動物種でも最も多く報告された(犬; 22.5%, 猫; 23.7%)。地震前兆的行動の信頼性を検証し、地震予知に応用させるためには、長期間において定量化できる行動を観測する必要がある。本調査で得られた結果は、このような縦断的観測を行うための足掛かりになると考えられた。

第二章：動物の行動頻度と地震との関連性に関する縦断調査

第一章における調査で、地震前兆的行動として最も多く報告された「落ち着きをなくす」行動に着目し、縦断的に観測して複数の地震との関連性を検証した。また、第一章で対象とした動物種は犬と猫のみであったが、その他にも多くの動物種における前兆的行動が報告されており、本章では、猫、馬、および亀を用いて毎日の「行動頻度」を赤外線センサーによって 1 年間観測した。その結果、猫、馬、および亀において、一定範囲内で発生した M6 を超える地震の 1 週間前までに行動頻度が顕著に増加することが複数回あり、特に猫では 4 回中 3 回、顕著な増加が確認された。時系列解析の結果、Maekawa ら (2006) が考案した日々の地震活動量の指標となる実効マグニチュード (Meff; Effective Magnitude) が 5.5 以上の日の 1 週間前以内に、猫と亀における行動頻度が有意に増加していた。本実験での観測期間や供試数は限られていたが、これらの動物は地震の数日前に行動変化を示すことが示された。

第三章：産業動物における生産性と地震との関連性に関する縦断的調査

第一節：地震前兆としての搾乳牛における乳量変化に関する調査

第二章において、地震の数日前に行動変化が現れることが確認されたため、第三章 第一節では、長期間における多くの個体を用いた検証が可能である、搾乳牛における日々の乳量に焦点を当てた。搾乳牛における乳量はストレス刺激に暴露されることによって減少することから、地震前兆に現れる刺激に反応する場合、減少している可能性がある。本節では、地震に先立って搾乳牛における乳量が減少するかどうかを検証するため、3 箇所の異なる地域に位置する牧場で測定された個体別乳量と複数の地震との関連性を、約 2 年間のデータを用いて調査した。搾乳牛の乳量は分娩後経過日数や環境温度、相対湿度により変動するため、これらの要因による影響を除去した後に地震との関連性を検証した。まず、東北地方太平洋沖地震に先行した乳量の変動があったかを検証した結果、地震の 3 日前から 6 日前にかけて、震源地から最も近い距離 (340 km) に位置する牧場で有意な乳量の減少がみられた ($P < 0.01$)。また、複数の地震との関連性を検証した結果、全ての施設における毎日の乳量平均値は、Meff5.0 以上 ($M = 6.0 \pm 0.1$) の日の 15 日前までに有意な負の相関を示した。また、M が大きくなるにつれ乳量がより減少していることも明らかとなり、毎日多くの地域で測定されている乳量は、地震予知へ応用できると考えられた。

第二節：地震前兆としての採卵鶏における産卵率に関する調査

第二節では、乳量と同様、毎日記録されており、ストレス刺激によって低下することが知られている採卵鶏の産卵率に焦点を当てた。4箇所異なる地域に位置する養鶏場で記録された3年間の鶏群別産卵率データを用いて、複数の地震との関連性を検証した。産卵率は日齢や環境温度、相対湿度によって変化するため、これらの要因による影響を除去してから地震との関連性を検証した。まず、東北地方太平洋沖地震に先行した産卵率の変動の有無を検証した結果、震源地から390km離れた施設において有意な低下が地震発生の7日前と9日前にみられていたことが明らかとなった。複数の地震との関連性を検証した結果では、 $M_{eff}5.0$ 以上 ($M = 6.2 \pm 0.1$) の日の27日前までにおける全施設の産卵率平均値は有意に減少していた。また、震源地からの距離が近いほど産卵率は低下し、約M5以上の地震では、Mが大きいほど産卵率が低下することも明らかとなった。

本研究により、複数の動物種において地震の前に行動が変化することが明らかとなった。地震は発生する場所や日時が不明なため、観測する前兆現象は長期間にわたり多くの場所で観測できなければならぬ。搾乳牛と採卵鶏における生産データは多くの地域でほとんど毎日、測定と記録がされていることから、これらの情報を収集できれば地震予知に利用できる。また、第一章では、地震の前に犬と猫が「落ち着きをなくす」ことが多く、この行動の多くは24時間以内に現れており、さらに第二章では猫の行動頻度は地震の数日前にも変化することが明らかとなった。このことから、これらの伴侶動物における行動を自動的に観測できる手法の考案が望まれた。

そこで本研究では、動物の行動を用いた地震予知に必要なモニタリングシステムの原型をいくつか考案した。まず、産業動物における生産データを毎日一元化できるように、クラウドコンピューティングを利用した生産データの収集システムを考案した。また伴侶動物の行動頻度に関して、より簡便にデータの自動収集ができる活動量計に着目し、現在、一般家庭の猫への応用を試みている。

地震前兆現象には動物の他に電磁気学的異常や、ラドン濃度の異常などが知られている。その中には現在、既に地震予知に向けた観測を継続しているものもある。本研究で対象とした前兆的行動は地震との関連性を統計的にある程度明らかにできたが、地震に関連しない変動もみられ、動物の行動だけに頼る予測は誤報を生み出すかもしれない。したがって、地震予知は、複数の現象を統合して行うことでより精度の高めることができると考えられる。

これまでに得られた全ての結果と先行研究の結果を踏まえ、考案した地震予知の方法は以下のようである。

- ①乳量や産卵率、その他の物理的・化学的現象を観測してその情報を統合し、まずある程度の地震発生危険度を予測する。
- ②これらの変化が現れた時、伴侶動物の行動変化にもより注意を払うことによって、より詳細な地震発生確率や地震発生日時を予測する。

このようなシステムが、動物の行動を中心に用いた最も可能な地震の直前予測の方法であると考え

られる。また、多くの観測点における異常の有無から、「どこで」発生するか、その異常の大きさから「どの程度の」規模の地震かも予測できると考えられる。今後これを実現させるためには、様々な機関との学際的交流が必要となる。また、より多くの地域における情報を収集して、異常（前兆）の有無を解析し、地震の発生危険度に関する情報発信を持続的に行えるシステムを構築するには、専門機関の設立や、社会からの支援が重要な課題になると考えられる。

論文審査の結果の要旨

地震がいつ、どこで、どのような規模で発生するかを予測し、その情報を適切に発信することができれば、多くの被害を低減できる。そのため、地震の数ヶ月前から直前にかけて現れる前兆現象の利用を含めた「短期地震予知」に関する研究が進められているが、現時点では、その実現は困難とされている。

これまでに、地震の発生前には様々な物理的・化学的現象の異常や変化に加え、多くの動物種における行動変化も報告されてきた。このような動物の地震前兆的行動は、地震発生前に生じる何らかの物理的・化学的現象の異常や変化に対する、いわゆる「ストレス反応」の結果であろうと考えられている。動物が何に反応しているのかは、依然として不明である。しかし、前兆的行動は地震発生の約1週間前から現れ始めるケースが多いことから、地震前兆に現れる動物の変化を客観的に捉えることができれば、地震予測に対する一つのパラメーターとなる可能性がある。本研究は、地震の前に現れる動物の変化が地震予測に利用可能であるかを検証するため、これらの変化を様々な手法を用いて調査したものである。

第一章 「東北地方太平洋沖地震」に関連した地震前兆的行動の横断調査

一般家庭で飼育されている犬や猫に焦点を当て、2011年3月11日に発生したモーメントマグニチュード (Mw) 9.0の「東北地方太平洋沖地震」の前に地震前兆的行動をwebアンケートによって調査した。その結果、犬において18.7% (236/1259)、猫では16.4% (115/703)が地震の前に行動変化を示していたことが明らかとなり、行動異常を示した動物の半数以上は地震の24時間前までに変化を示していた。また、変化した行動に関して、「落ち着きをなくす」行動が犬・猫とも最も多く報告された (犬; 22.5%, 猫; 23.7%)。

第二章：動物の行動頻度と地震との関連性に関する縦断調査

第一章の調査で、地震前兆的行動として最も多く報告された「落ち着きをなくす」行動を「活動量」に置き換え、複数の地震との関連性を検証した。また、第一章の犬・猫以外にも多くの動物種における前兆的行動が報告されていたことから、第二章では、猫、馬、および亀を用いて毎日の「行動頻度」を赤外線センサーによって1年間観測した。その結果、猫、馬、および亀において、一定範囲内で発生したM6を超える地震の1週間前までに行動頻度が顕著に増加することが複数回あり、特に猫では4

回中 3 回、顕著な増加が確認された。時系列解析の結果、Maekawa ら (2006) が考案した日々の地震活動量の指標となる実効マグニチュード (Meff; Effective Magnitude) が 5.5 以上の日の 1 週間前から、猫と亀における行動頻度が有意に増加していた。

第三章：産業動物における生産性と地震との関連性に関する縦断的調査

第一節：地震前兆としての搾乳牛における乳量変化に関する調査

搾乳牛における乳量はストレス刺激に暴露されることによって減少することから、地震前兆に現れる刺激に反応する場合、減少している可能性がある。第三章第一節では、3 箇所の異なる地域に位置する牧場で測定された個体別乳量と複数の地震との関連性を、約 2 年間のデータを用いて調査した。搾乳牛の乳量は分娩後経過日数や環境温度、相対湿度により変動するため、これらの要因による影響を除去した後に地震との関連性を検証した。まず、東北地方太平洋沖地震に先行した乳量の変動があったかを検証した結果、地震の 3 日から 6 日前にかけて、震源地から最も近い距離 (340 km) に位置する牧場で有意な乳量の減少がみられた ($P < 0.01$)。また、複数の地震との関連性を検証した結果、全ての施設における毎日の乳量平均値は、Meff5.0 以上 ($M = 6.0 \pm 0.1$) の日の 15 日前までに有意な負の相関を示した。また、M が大きくなるにつれ乳量がより減少していることも明らかとなり、毎日多くの地域で測定されている乳量は地震予測へ応用できると考えた。

第二節：地震前兆としての採卵鶏における産卵率に関する調査

第二節では、乳量と同様、毎日記録されており、ストレス刺激によって低下することが知られている採卵鶏の産卵率に焦点を当てた。4 箇所の異なる地域に位置する養鶏場で記録された 3 年間の鶏群別産卵率データを用いて、複数の地震との関連性を検証した。産卵率は日齢や環境温度、相対湿度によって変化するため、これらの要因による影響を除去してから地震との関連性を検証した。まず、東北地方太平洋沖地震に先行した産卵率の変動の有無を検証した結果、震源地から 390km 離れた施設において有意な低下が地震発生の 7 日前と 9 日前にみられていたことが明らかとなった。複数の地震との関連性を検証した結果では、Meff5.0 以上 ($M = 6.2 \pm 0.1$) の日の 27 日前までにおける全施設の産卵率の平均値は有意に減少していた。また、震源地からの距離が近いほど産卵率は低下し、M5 以上の地震では、M が大きいほど産卵率が低下することも明らかとなった。

本研究により、複数の動物種において地震の前に行動が変化することが明らかとなった。第一章では、地震の前に犬と猫が「落ち着きをなくす」ことが多く、この行動の多くは 24 時間以内に現れており、さらに第二章では猫の行動頻度は地震の数日前にも変化することが明らかとなった。地震は発生する場所や日時が不明なため、観測する前兆現象は長期間にわたり多くの場所で観測できなければならない。搾乳牛と採卵鶏における生産データは多くの地域でほとんど毎日、測定と記録がされていることから、これらの情報を用いた地震予測は決して困難ではない。産業動物における生産データを毎日一元化できるよう、クラウドコンピューティングを利用した生産データの収集、さらに猫など一般

家庭動物の活動量の自動収集ができるシステムを考案し、現在、試行している。

地震前兆現象には動物の他に電磁気学的異常や、ラドン濃度の異常などが知られている。地震予測は、これら複数の現象を統合して行うことでより精度の高めることができると考えられる。

乳量や産卵率、その他の物理的・化学的現象を観測して、それらの情報を統合し、まずある程度の地震発生危険度を予測する。これらに変化が現れた時、伴侶動物の行動変化にもより注意を払うことによって、何時、何処で、どの程度の地震が発生するか、予測できる。

本研究で得られた結果は、動物を利活用した意義ある成果として高く評価できることから、動物応用科学の博士（学術）の学位を授与するのに相応しい研究と判定した。