

イワシの大量死および大量漂着と大地震との関連性の調査

織原 義明¹⁾

Investigation of the Link Between Massive Die-offs and Strandings of Sardines and Large Earthquakes in Japan

Yoshiaki ORIHARA¹⁾

Abstract

Some people believe that unusual phenomena are associated with impending earthquakes. The 2024 Noto Peninsula Earthquake occurred on January 1, 2024. Nineteen days before this quake, massive sardine die-offs were observed along certain coasts in Hokkaido and Mie prefectures. Some might see these unusual events as precursors to the earthquake. Additionally, such individuals may believe that massive sardine die-offs and strandings are rare. However, these phenomena do happen from time to time. We investigated the correlation between massive sardine die-offs/strandings and large earthquakes in Japan. Ultimately, we found no significant correlation between the two.

緒 言

大地震が発生し、その前にいつもと違う出来事（異常現象）があると、それが大地震の前兆だったのではないかと、両者を結びつけて考える人がいる。2024年1月1日、能登半島でマグニチュード: M 7.6, 最大震度7の地震が発生した（気象庁, 2024a）。この地震の19日前2023年12月13日に、北海道江差町と三重県志摩市でイワシの大量死・大量漂着があった（読売新聞社, 2023a; 朝日新聞社, 2023a）。また、2023年12月7日にも北海道函館市に大量のイワシ・サバの死骸が漂着している（朝日新聞社, 2023b）。こうしたイワシの大量死・大量漂着は、2024年能登半島地震の前兆だったのではないかと、といった話がSNSや一部週刊誌で話題になった。しかし、地震前の異常とされる現象は、過去にも少なからず起きていた場合がある。例えば、鯨類が集団で海岸に打ち上げられるマス・ストランディングは、2011年東北地方太平洋沖地震の7日前に茨城県の鹿島灘に面した海岸で発生しているが、この海岸では、それ以前にも複数回のマス・ストランディングが報告されている。そして、その後に東北や関東エリアで大地

震はなかった（織原・野田, 2015）。さらに、2011年3月4日の54頭よりも3倍近い156頭のマス・ストランディングが、2015年4月10日に茨城県鉾田市の海岸で発生している。しかし、その後に2011年東北地方太平洋沖地震のような巨大地震は発生しなかった。ボラの大量死については、2022年3月6日の東京都と3月7, 8日の大阪市のボラ大量死が、2022年3月16日に発生した福島県沖の地震（ M 7.4, 最大震度6強）の前兆だったのではないかと、インターネット上で話題になった。そこで、過去にあったボラ大量死と大地震の関係を調べたところ、ボラ大量死から30日後までに半径300km以内で震度6強以上の地震が発生したケースは、前述した2022年3月のケースのみだった（織原, 2022）。深海魚出現も地震の前兆といわれることがあるが、1928年から2011年までの深海魚出現336件と大地震221件との関連性を調べたところ、深海魚出現日から30日後までに出現場所から半径100km以内で、 M 6.0以上の地震があったケースは1回だけだった（Orihara et al, 2019）。一方、イワシについては、明治三陸地震や昭和三陸地震前に漁獲異常（豊漁）が報告され

1) 東京学芸大学教育学部 〒184-8501 東京都小金井市貫井北町4-1-1

Faculty of Education, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikitamachi, Koganei, Tokyo 184-8501, Japan

Running head: イワシ大量死・大量漂着と大地震との関連性

(2024年9月1日受付/2024年10月17日受理)

ている(吉村, 2004). そして, 2011年東北地方太平洋沖地震前にも, 太平洋に面する東北地方から関東地方の複数の漁港で, 2011年2月にイワシの漁獲異常(豊漁)が確認された. ただし, 過去にも同様のことがあったことから, イワシの漁獲異常は2011年東北地方太平洋沖地震前に限ったこととまではいえなかった. なお, ここでいう漁獲異常とは, ある月の水揚量が前月および前年の同月と比べて, いずれも10倍以上または10分の1以下になっている漁港が複数ある場合をさす(織原他, 2014).

地震前の動物異常行動は, 魚や鯨類などの海洋生物だけでなく, 陸上の生物についても数多くの報告がある(例えば, トリブッチ, 1985). しかし, 動物異常行動と地震を関連づける文献のほとんどは, 異常の定義があいまいであったり, 長期的な時系列データが示されていないかたりするなどの問題点があると指摘されている(Woith et al., 2018). イワシの大量死・大量漂着については, 過去の新聞記事等を調べることで, 長期的な時系列データを得ることができる. そこで, 本研究では長期的な時系列データを作成し, 地震との関連性を統計的に検証した.

方 法

イワシの大量死・大量漂着は, 過去の新聞記事やインターネット情報および学術文献から見つけてきた. イワシの種類については言及していない場合もあることから, 大量死および大量漂着として取り上げられたものをすべて選び出した. また, イワシ以外の魚種が含まれる場合も, イワシの大量死・大量漂着とした. 見つけることができた最も古い新聞記事は, 1944年4月20日付の読売新聞「銚子近海から九十九里海岸一帯にかけて, イワシ・カゲキヨなどが数日前から仮死状態浮き上がり, 渚にタコが浮かびあがる」である(読売新聞社, 1944). その後は, 1981年4月の新潟県北部海域や佐渡沖などで発生したイワシの大量死(新潟日報社, 1981)まで37年間, 見つけることができなかった. ただし, この新潟県の事例は海域における大量死であり, 海岸や港への漂着の記述はなかった. 沖合における大量死は, 漁師など一部の人が目にするのではない. 本研究では, 多くの人が目にするのが可能な海岸等への漂着を含まない大量死は対象外とした. 1981年4月の新潟県の事例に加え, 2021年12月の青森県沖合での事例(朝日新聞社, 2021)がこれに該当する. また, 取れ過ぎによる海洋投棄といった, 人的な原因が示唆された2009年12月千葉県大網白里町(朝日新聞社, 2009), 2012年12月千葉県白子町(朝

日新聞, 2012b)も対象外とした. さらに, 大量死がなく大量に港などに押し寄せた2002年11月鳥取県赤碕港(読売新聞社, 2002), 2006年3月千葉県勝浦市豊浜漁港(朝日新聞社, 2006), 2022年3月岩手県釜石市平田漁港(河北新報社, 2022)も対象外とした.

上記の条件に見合う1944年以降の報告は, 2011年以前は1991年と2001年しかなかった. 一方, 2012年以降は2024年まで, 毎年イワシの大量死・大量漂着が報告されている. なお, 新聞記事よりも古い報告は, 黒田(2015)に記されている1906年11月および1933年11月の北海道日高沿岸である. 次に, 時間的にも空間的にも近いものを一連のイベントとしてまとめると, 2023年10月17日熊本県天草市と長崎県南島原市, 2021年12月13日北海道松前町と14日の乙部町及びせたな町, 2014年11月3日北海道むかわ町から新ひだか町と5日浦河港の3グループがこれに該当する. これら3グループについては, 2023年10月17日熊本県天草市と, 後の地震に時間的に近くなる2021年12月14日北海道せたな町, 2014年11月5日浦河港をそれぞれの代表とした. この時点で, イワシの大量死・大量漂着は全部で37回となる. ただし, 2011年以前の報告は各イベントの間隔が空き過ぎているため, 本研究では対象外にすることとした. これにより, 2012年6月から2024年8月までに確認された計31回が対象となる(Table 1). ここで, Table 1に示したイワシの大量死・大量漂着カタログは完全ではない可能性があることを付記しておく. TSURINEWS(2020)には, 「静岡などほぼ毎年のようにどこかでイワシの打ち上げが発生している地域もあり」といった記述がある. これが「大量」なのか, といったことなどは不明だが, 今後さらなる大量死・大量漂着が見出される可能性は残る. なお, Table 1にある日付が特定できなかった5イベント, No.11の2022/12, Late, No.12の2022/2, Late, No.18の2020/10, Early, No.20の2020/4, No.22の2018/12, Lateについては, 地震との対応を検証する際, 時間間隔が短くなるよう, それぞれ2022/12/31, 2022/2/28, 2020/10/10, 2020/4/30, 2018/12/31とした.

地震については, 気象庁一元化震源データ(気象庁, 2024b; 気象庁, 2024c)から, 日本周辺で発生した震源の深さが100km以浅の M 6.5以上の地震を選んだ. なお, 余震は省いている. また, 2016年熊本地震については, 異常(イワシの大量死・大量漂着)から地震までの時間(先行時間)が短くなるよう対象となる地震を4月16日の本震ではなく, 4月14日の前震とした. 対象地震は2024年8月8日の日向灘の地震までで計32個となった(Table 2).

Table 1 Thirty-one events or groups of massive sardine die-offs/strandings

No.	y/m/d	Prefecture	Location	Longitude	Latitude	Reference
1	2024/6/4	Hokkaido	Akkeshi Lake, Akkeshi Town	144.8532	43.0473	日本テレビ放送網 (2024)
2	2024/5/19	Hokkaido	Erimo Town	143.1460	42.0163	フジニュース放送網 (2024)
3	2024/3/24	Hokkaido	from Zenibako to Hariusu, Otaru City	141.1605	43.1442	読売新聞社 (2024)
4	2024/1/10	Hokkaido	Futoro, Setana Town	139.8141	42.3739	北海道新聞社 (2024)
5	2023/12/13	Hokkaido	Gokatsute, Esashi Town	140.1190	41.8669	読売新聞社 (2023a)
6	2023/12/13	Mie	Nakiri, Shima City	136.8987	34.2808	朝日新聞社 (2023a)
7	2023/12/7	Hokkaido	Toi, Hakodate City	141.0250	41.7190	朝日新聞社 (2023b)
8	2023/10/17	Kumamoto	Amakusa City	130.1922	32.5173	毎日新聞社 (2023)
	2023/10/17	Nagasaki	Minami Shimabara City	130.1595	32.6265	毎日新聞社 (2023)
9	2023/2/13	Toyama	Matsudaehama, Takaoka City	137.0280	36.8222	読売新聞社 (2023b)
10	2023/2/7	Niigata	Tsutsuishi Fishery Port, Itoigawa City	138.0520	37.1356	朝日新聞社 (2023c)
11	2022/12, Late	Hokkaido	Sea of Okhotsk Coast, Kunashiri Island	145.9659	44.2963	moto-tomin2sei, 2023
12	2022/2, Late	Aomori	Mutsu Bay, Yokohama Town	141.2427	41.0624	読売新聞社 (2022a)
13	2022/1/9	Hokkaido	Arimoi, Etorofu Island	147.8372	45.2089	朝日新聞社 (2022)
14	2022/1/21	Hokkaido	from Cape Noshappu to Cape Soya, Wakkanai City	141.6673	45.4341	読売新聞社 (2022b)
15	2021/12/14	Hokkaido	Takise, Sakaehama, Toriyama, and Genna, Otohe Town	140.1243	41.9925	北海道文化放送 (2021)
	2021/12/14	Hokkaido	Hirahama, Setana Town	139.8808	42.2068	北海道文化放送 (2021)
	2021/12/13	Hokkaido	Tatehama, Matsumae Town	140.0423	41.4469	北海道文化放送 (2021)
16	2021/11/21	Hokkaido	Hiroo Town and Erimo Town	143.3242	42.1600	十勝毎日新聞社 (2021)
17	2021/2/15	Tokyo	Miike Beach, Miyake Island	139.5614	34.0860	読売新聞社 (2021)
18	2020/10, Early	Niigata	Arahama, Kashiwazaki City	138.5744	37.4026	TSURINEWS (2020)
19	2020/9/1	Hokkaido	Hakodate Bay	140.7165	41.7847	読売新聞社 (2020)
20	2020/4,	Toyama	Toyama Bay	137.2061	36.7600	TSURINEWS (2020)
21	2019/12/2	Hyogo	Nishinomiya Marina, Nishinomiya City	135.3392	34.7203	朝日新聞社 (2019)
22	2018/12, Late	Hokkaido	Shana and Nayoka, Etorofu Island	147.8715	45.2364	朝日新聞社 (2022)
23	2018/2/6	Hokkaido	Cape Noshappu	141.6437	45.4482	朝日新聞社 (2018b)
24	2018/1/30	Aomori	Mutsu Bay, Yokohama Town	141.2187	40.9674	朝日新聞社 (2018a)
25	2017/9/13	Aichi	Hori-kawa River, Nagoya City	136.8897	35.0934	毎日新聞社 (2017)
26	2016/5/13	Yamaguchi	Zobigasaki, Hikari City	131.9763	33.9221	朝日新聞社 (2016)
27	2015/10/14	Ibaraki	Takeigama, Kashima City	140.6185	36.0676	読売新聞社 (2015)
28	2014/11/5	Hokkaido	Urakawa Bay	142.7671	42.1659	朝日新聞社 (2014)
	2014/11/3	Hokkaido	from Mukawa Town to Shin-Hidaka Town	142.1842	42.4490	朝日新聞社 (2014)
29	2013/10/13	Niigata	Takase Fishery Port, Sado Island	138.2352	37.9928	読売新聞社 (2013)
30	2012/6/14	Kanagawa	Tsurugisaki, Miura City	139.6778	35.1411	毎日新聞社 (2012)
31	2012/6/4	Chiba	Ohara Fishery Port, Isumi City	140.4020	35.2540	朝日新聞社 (2012a)

Table 2 Thirty-two earthquake events or groups with $M \geq 6.5$ (focal depth less than 100 km), based on the Japan Meteorological Agency (JMA)

No.	y/m/d	Focal region	Longitude	Latitude	Depth [km]	Magnitude
1	2024/8/8	Hyuga-nada	131.7217	31.7367	31	7.1
2	2024/4/17	Bungo Channel	132.4083	33.2000	39	6.6
3	2024/1/1	Noto Region	137.2700	37.4950	16	7.6
4	2023/5/5	Off Noto Peninsula	137.3033	37.5383	12	6.5
5	2022/5/9	Off the Western Coast of Ishigaki Island	122.4958	23.9425	19	6.6
6	2022/3/16	Off Fukushima	141.6217	37.6967	57	7.4
7	2022/1/22	Hyuga-nada	132.0723	32.7162	45	6.6
8	2021/9/21	Off the Eastern Coast of Etorofu Island	152.5603	45.6713	30	6.6
9	2021/5/1	Coast of Miyagi	141.7400	38.1740	51	6.8
10	2021/3/20	Coast of Miyagi	141.6277	38.4680	59	6.9
11	2021/2/13	Off Fukushima	141.6983	37.7283	55	7.3
12	2020/12/21	Off the Eastern Coast of Aomori	142.6918	40.7818	43	6.5
13	2019/6/18	Off Yamagata	139.4783	38.6067	14	6.7
14	2018/9/6	Iburi region, Hokkaido	142.0067	42.6900	37	6.7
15	2018/8/17	Off the Southern Coast of Ogasawara	143.2177	23.6992	93	6.6
16	2016/11/22	Off Fukushima	141.6042	37.3547	25	7.4
17	2016/10/21	Central part, Tottori	133.8550	35.3800	11	6.6
18	2016/9/23	Off the Southeast Coast of Chiba	141.8438	34.3963	32	6.7
19	2016/9/21	Off the Southeast Coast of Hachijo Island	142.3207	30.5518	50	6.5
20	2016/4/14	Kumamoto region, Kumamoto	130.8083	32.7417	11	6.5
21	2016/4/1	Off Kii Peninsula	136.3832	33.3233	29	6.5
22	2016/1/14	Coast of Erimo	142.8012	41.9702	52	6.7
23	2015/12/4	Off the Southeast Coast of Ogasawara	146.5397	22.4977	0	6.6
24	2015/11/14	Off the Western Coast of Kagoshima	128.5900	30.9432	17	7.1
25	2015/5/31	Off the Southeast Coast of Hachijo Island	143.1283	30.7745	45	6.6
26	2015/5/13	Coast of Iwate	142.1502	38.8628	46	6.8
27	2015/4/20	Off the Western Coast of Ishigaki Island	122.4273	23.9557	22	6.8
28	2015/2/17	Off Iwate	143.1927	39.8723	13	6.9
29	2014/11/22	Northern part, Nagano	137.8900	36.6917	5	6.7
30	2014/7/12	Off Fukushima	142.3208	37.0500	33	7.0
31	2013/10/26	Off Fukushima	144.5687	37.1963	56	7.1
32	2012/12/7	Off Miyagi	143.8670	38.0198	49	7.3

Figure 1 は、2012年以降のイワシの大量死・大量漂着31回(赤色の星印)と、 M 6.5以上の地震32個(青色の丸印)の場所をプロットした地図である。そして、これら異なる2種類の事象を、Zechar (2010) に紹介されている代表的な地震予知・予測の評価方法を用いて、両者の関連性を検証する。本研究では、Molchan error diagram (Molchan, 1991; Molchan and Kagan 1992) を参考にして、イワシの大量死・大量漂着による地震予知・予測法を評価する。Molchan error diagramでは、横軸に異常 (Anomaly) による地震検出可能な時空間で警報 (Alarm) が出ている時空間の割合 τ (Alarm Fraction) = $P(A)$ 、縦軸に予知失敗の割合 ν (Fraction of Failures to Predict) が、それぞれ0から1の範囲で示される。本研究では、縦軸を予知成功の割合、言い換えると、地震 (Earthquake) が発生した時にその地震の前に異常 (Anomaly) がある確率 $P(A|E)=1-\nu$ とする。なお、 $P(A|E)$ は、Orihara et al. (2012) にある全対象地震に対する異常 (Anomaly) が事前にあった地震の割合、 AAR (Anomaly Appearance Rate) に相当する。空間的な条件は、第一段階として日本全域という最も緩い制約とする。例えば、北海道で異常があり、その後九州で地震があった場合でも、異常と地震は対応している、とする。また、九州のほかに関東でも地震があった場合、両者ともその異常に対応する地震とする。逆に複数の異常、例えば、北海道と関東で異常があり、その後九州で地震があった場合、北海道と関東の異常は2つとも九州の地震に対応する異常とする。異常と地震との組み合わせは、ある地震 (例えばEQ1とする) から見て、時間的にひとつ前の地震 (EQ2) までにあった異常をすべてEQ1の異常とする。例えば、EQ1が2024年10月10日に、EQ2が2024年9月10日に発生したとする。この2つの地震のあいだに異常が3つあった場合は、3つ全てEQ1に対応する異常とする。また、EQ3が2024年9月1日に、前日の8月31日に異常があったとする。この場合、8月31日の異常はEQ2とEQ3の2つの地震に対応する異常とする。

異常が出た日から地震発生の警報 (アラーム) が発せられるとする。地震とそれに先行する異常との時間間隔 (先行時間) は、異常発生の当日を0日として日単位で表す。先行時間、つまり警報が出されている期間は、一般的に長くなれば長くなるほど、“当たり”となる地震の数は増える。ただし、先行時間が長くなり過ぎると、常に異常が出ていることになり、絶対に当たる予知・予測になってしまう。対象期間は2012年6月4日から、日向灘の地震があった

2024年8月8日までの4449日間で、この期間に記録された異常は31回、地震は32回である。本研究では、先行時間を変えることにより横軸の値 $P(A)$ を変化させ、それに対応する $P(A|E)$ を求め、グラフにプロットした。

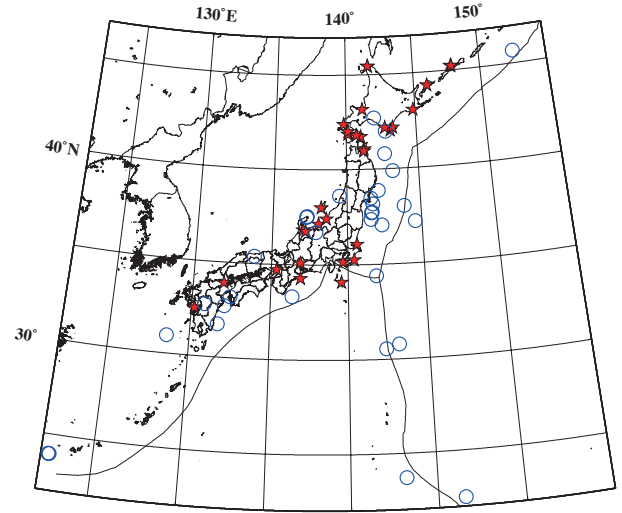


Fig.1. Massive sardine die-offs/strandings and earthquakes with $M \geq 6.5$ (focal depth less than 100 km), based on the Japan Meteorological Agency (JMA) seismic catalogue from June 2012 to August 2024. Red stars and blue open circles denote 31 massive sardine die-offs/strandings and 32 earthquakes, respectively.

結果と考察

1. 統計学的な検証

Figure 2は、横軸に $P(A)$ 、縦軸に $P(A|E)$ 、斜線はランダムに予知した場合 (random guessing) を示している。この線より上側はランダム予知 (偶然) よりも起こりにくい場合を示す。横軸は、地震との対応が見られる先行時間1, 13, 16, ..., 439日の場合の $P(A)$ で、縦軸がそれぞれに対応する $P(A|E)$ となる。先行時間272日で $P(A|E)=1$ になる。これを見ると、 $P(A)$ が概ね0.7より小さい範囲では、ランダム予知 (斜線) 周辺にプロットされているが、0.7を超えるとランダム予知 (斜線) から上側へ大きく離れていくことがわかる。この範囲では、ランダム予知よりも起こりにくいことになる。

次に、確率利得 (Probability Gain) を求める。確率利得とは、予測モデルがどの程度有効であるかを評価するためのひとつの指標で、ある予測モデルがランダム予測に比べてどれだけ優れているかを示す。確率利得 (Probability Gain):

$$PG = P(A|E) / P(A) \quad \dots \textcircled{1}$$

(Aki, 1981; Molchan and Kagan, 1992; McGuire

et al., 2005; Zechar and Jordan, 2008; Wang et al., 2013) の最高得点は、先行時間1日の2.2である。したがってこの予測モデルの効果は、最大でランダム予知の2.2倍程度ということになる。では、このときの p 値 (p -value) はどうであろうか。 p 値とは帰無仮説が正しいとした場合に、観測された統計量の値がどれほど極端であるかを示す指標である。この場合の帰無仮説は「イワシの大量死・大量漂着と M 6.5 以上の地震との間に相関はない」で、対立仮説が「イワシの大量死・大量漂着と M 6.5 以上の地震との間に相関がある」となる。本研究では、予知・予測の成功は二項分布に従うとし、 p 値を式：

$$P(k) = {}_nC_k p^k (1-p)^{n-k} \quad \dots (2)$$

から導き出す。ここで n は試行回数、 k は成功した試行回数、 p は成功確率である。試行回数 n は予測可能な地震の数、成功試行回数 k は先行異常のある地震の数、成功確率 p はアラーム関数すなわち $P(A)$ である。この場合、 $n=32, k=1, p=0.014$ なので、 $P(k \geq 1) = 0.362$ となる。有意水準 α をしばしば用いられる $\alpha=0.05$ とすると、 $P(k \geq 1) = 0.362$ はそれよりも大きい。したがって、対立仮説は棄却され帰無仮説「イワシの大量死・大量漂着と M 6.5 以上の地震との間に相関はない」に矛盾しない、となる。

一方、Fig.2 でランダム予知よりも好成績を示した $P(A)$ が概ね0.7を超える範囲では、先行時間が193日から289日の間で $P(k)$ は $\alpha=0.05$ を下回る。したがって、この範囲では帰無仮説が棄却され、対立仮説「イワシの大量死・大量漂着と M 6.5 以上の地震との間に相関がある」に矛盾しない、となる。ただし、先行時間193日から289日の $P(A)$ は0.7～0.9であり、対象期間全体の7割から9割に警報 (Alarm) が出ていることになる。また、この範囲の確率利得 PG は1.1～1.3でランダム予知と大差ない。この結果を「実際の防災・減災に役立つ情報になり得るか」といった視点で見た場合、ほぼ毎日のように警報 (Alarm) が発令されている状況は、「地震はいつ来てもおかしくないから、常に備えておくように」といった一般的な教訓と何ら変わりがないといえる。なお、ここでいう「実際の防災・減災に役立つ情報」とは、その情報により通常とは異なる防災行動を起こすことで、生命や財産が守られる、もしくは被害が軽減されるような情報をさす。例えば、事前避難を促すような情報である。

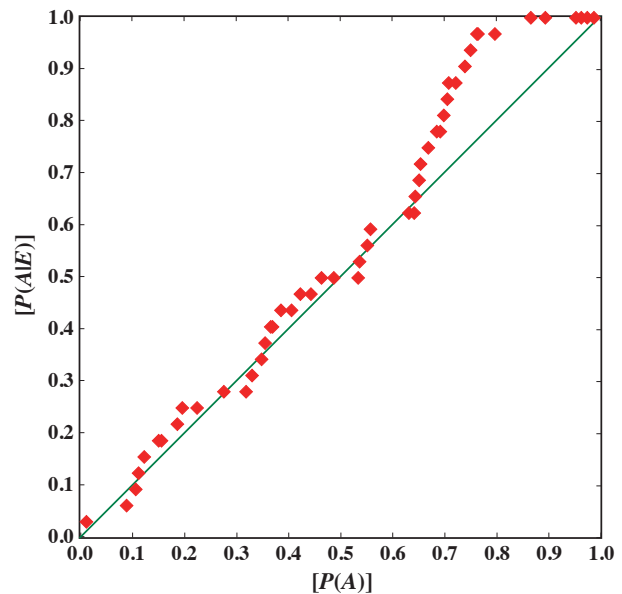


Fig. 2. A diagram based on the Molchan error diagram. The horizontal axis represents $P(A)$, the fraction of space-time occupied by the alarm, while the vertical axis represents $P(A|E)$, the fraction of successful earthquake predictions. The green diagonal line indicates the random probability threshold. A point above this line suggests that a score is better than what could be achieved by random guessing, whereas a point below the line indicates a score worse than random guessing.

2. 時空間的な相関

異常と地震との対応 (組み合わせ) は全部で53通りになる。Fig. 3 は、横軸に先行時間 (Lead Time)、縦軸に異常発生場所から震央までの距離、震央距離 (Epicenter Distance) をある間隔ごとに区切り、当てはまるマスに異常と地震との組み合わせの数を示したものである。例えば、先行時間が11～20日で震央距離が351～400kmに当てはまる組み合わせは2つとなる。これを見ると、先行時間が80日以内かつ震央距離が350km以下の組み合わせが1つもないことがわかる。

一般的に、ある地震に前兆現象があったとする場合、その前兆は差し迫った地震の震源付近を中心に、地震発生の直前に多く現れると考えられる。そこで、「前兆は震源付近を中心に地震発生直前に現れる」といった仮定のもとで、実際にイワシの大量死・大量漂着があった場所とその周辺にとって、防災・減災に役立つ情報になり得たか、といった視点で考えてみる。先行時間が短く、震央距離も相対的に短い5事例と、先行時間は81～90日とやや長いものの震央距離が80kmと最も短い2事例の計7事例を対象に考察する。

事例1) 先行時間1日の北海道稚内市の異常と2022

年1月22日日向灘の地震 (M 6.6) : 震央距離 1640km の北海道稚内市とその周辺は無感だった (気象庁, 2024d) ことから, 実際の防災・減災に役立つ情報だったとはいえない。

事例2) 先行時間13日の新潟県佐渡の異常と2013年10月26日福島県沖の地震 (M 7.1) : 震央距離 570km の佐渡地方の震度は1で, 他の新潟県内も最大震度は2だった (気象庁, 2024d) ことから, これも実際の防災・減災に役立つ情報ではなかったといえる。

事例3) 先行時間13日の択捉島と事例1と同じ日向灘の地震 : 択捉島の震度情報はないが, 震央距離 1950km と事例1より長いことから, 無感で実際の防災・減災に役立つ情報ではなかったと考えられる。

事例4) 先行時間16日の青森県横浜町の異常と2022年3月16日福島県沖の地震 (M 7.4) : 震央距離は380kmで, 横浜町の震度は3, 近隣の野辺地町では震度4を記録している (気象庁, 2024d)。

事例5) 先行時間19日の三重県志摩市の異常と2024年1月1日能登半島地震 (M 7.6) : 震央距離は360kmで, 志摩市の震度は2, 近隣の伊勢市は震度3だった (気象庁, 2024d)。

事例4, 5については, それぞれ最大震度が6強と7を記録しているものの, 異常が現れた周辺の揺れは深刻な被害が出るほどのものではなかった。したがって, 事例4, 5についても, 実際の防災・減災に役立つ情報ではなかった, といえる。

事例6) 先行時間81日の富山県高岡市の異常と2024年1月1日能登半島地震 (M 7.6) : 震央距離は80kmで, 高岡市は震度5強だった (気象庁, 2024d)。

事例7) 先行時間87日の新潟県糸魚川市の異常と2024年1月1日能登半島地震 (M 7.6) : 震央距離は80kmで, 糸魚川市は震度5強だった (気象庁, 2024d)。

事例6, 7 については, 異常が見られた当地で震度5強と大きな揺れを記録しているのので, ある程度は実際の防災・減災に役立つ情報になり得た可能性はある。しかし, 震度7を記録した石川県輪島市や志賀町など, 最も被害が大きかった能登地方の防災・減災に役立つ情報にはなり得なかったと考えられる。

以上のように, 実際の (現実的な) 防災・減災に役立ったと考えられる事例はなかった。ただし, 本研究では M 6.5以上の地震を対象としている点に恣意性が残る。マグニチュードの閾値を変えても同様の結果になるかは今後の課題である。

3. イワシ大量死・大量漂着の時空間的な特徴とその原因

Table1に示したイワシの大量死・大量漂着31回と, Table 2に示した地震32個の月別発生回数は, それぞれ Fig.4 (a), (b) のようになる。イワシの大量死・大量漂着は12月が7回と最も多く, 7, 8月には発生していない。ある程度の季節的な偏りがあると考えられる。一方, 地震は5月の5回が最大で,

Epicenter Distance [km]	Lead Time [day]																		
	1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100	101-150	151-200	201-250	251-300	301-350	351-400	401-450		
2501-3000						1						1							
2001-2500												1							
1501-2000	1	1				1	1		1			1	1						
1001-1500			1	2			1			1	2	1	1		1				
901-1000											1	2				2			
801-900								1											
701-800		1								1				1			1		
601-700																			
501-600		2	1	1				1											
451-500								1				3							
401-450												1			1				
351-400		2										1			1				
301-350														1					
251-300											1	1							
201-250											1		1						
151-200											1								
101-150																			
51-100								2											
1-50																			

Fig .3. A matrix of lead time (horizontal axis) and epicenter distance (vertical axis). The labels on the horizontal and vertical axes represent the range covered by each cell, and the numbers in the matrix indicate the number of combinations of anomalies and earthquakes that correspond to each cell.

未発生は月はない。両者に共通の傾向があるようには見えない。場所についてはどうであろうか。イワシの大量死・大量漂着が最も多いのは北海道の15回で、次いで、新潟県3回、青森県と富山県と千葉県がそれぞれ2回、それ以外は1回である。地域的な偏りがあることは明らかである。地震も地域的な偏りがあるが、Fig.1 から両者の偏りが一致しているとはいえない。以上のことから、イワシ大量死・大量漂着が M 6.5以上の地震と関連性があるとは考えるのは難しい。

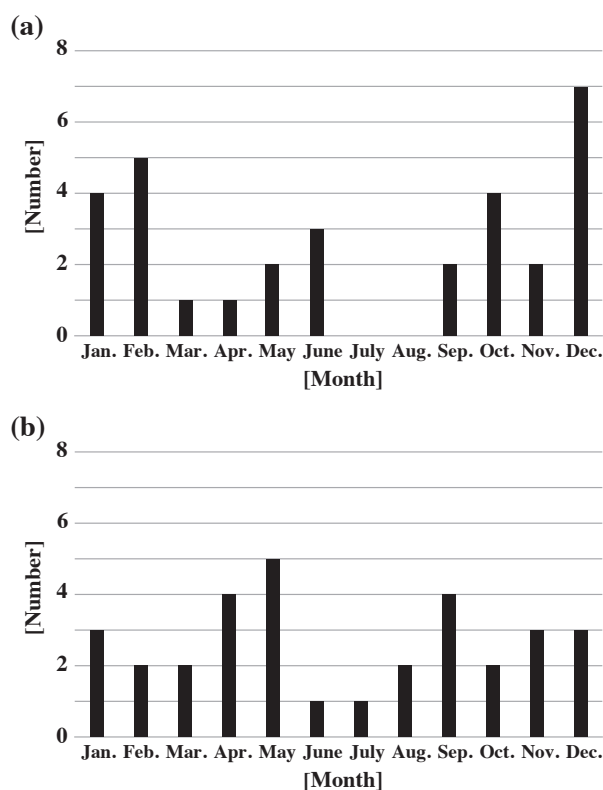


Fig. 4. (a) Monthly number of 31 massive sardine die-offs/strandings, and (b) monthly number of 32 earthquakes with $M \geq 6.5$ (focal depth less than 100 km) from June 2012 to August 2024.

では、イワシの大量死・大量漂着の原因として、どのようなことが考えられるのであろうか。その仮説は、新聞記事等でも述べられている。魚食普及推進センター (2024) のホームページには「イワシの大量死・大量漂着 その原因を考える」といった記載がある。これによれば、大量死の原因は、1) 低温で仮死状態、2) 酸欠、3) 塩分濃度の違い、が挙げられている。黒田 (2015) は2014年11月上旬に北海道日高沿岸で発生したイワシの大量死・大量漂着 (Table 1 のNo. 28 のイベント) について、原因とされる冷水はどのように発生したかについて考察している。黒田 (2015) によれば、イワシの大量死・大量漂着は1906年と1933年にも同じ時期、同じ場

所で発生しているが、3例とも北西の季節風が吹いていたという。そして、吹き続ける北西季節風の影響で、下層の冷水が上昇して表層の水温が急降下し、 10°C 以下の表層水が表層を回遊中のイワシ群の動きに影響を与えたとしている。イワシの大量死・大量漂着は12月に多く7月と8月にはないこと、及び北海道で多いことから、その要因のひとつとして水温の低下が関係していることが推測される。

それでも、地震が原因のものが含まれている可能性はある、といった反論があるかもしれない。この反論を完全に否定することはできない。しかし、本研究からはイワシの大量死・大量漂着と地震が、時間的にも空間的にも隣接していた事例を見出すことはできなかった。少なくとも現時点で、イワシの大量死・大量漂着によって地震を予知すること (精度高くある地域の M 6.5以上の地震発生を当てること) はできない。また、イワシの大量死・大量漂着が発生した周辺エリアにとって、実際の防災・減災に役立つ情報にもなり得ない、といえる。

結 論

イワシの大量死・大量漂着と M 6.5以上の地震との関連性を統計的に検証したところ、両者の相関関係は確認できなかった。時間的または空間的に両者が隣接していた事例は数例あったものの、時間的かつ空間的に隣接していた事例はなかった。また、イワシの大量死・大量漂着は7, 8月には発生しておらず、地域としては北海道が圧倒的に多かった。このような事実からも、イワシの大量死・大量漂着が地震の前兆現象とするには無理がある。それでもこれらのなかに、地震に関連するイベントが含まれている可能性までは否定できない。しかし、イワシの大量死・大量漂着により、被害をもたらすような大地震の予知をすることは、少なくとも現時点ではできない。

謝 辞

本研究は東京大学地震研究所共同利用 (2024-KOBO03) の援助をうけました。

引用文献

Aki, K. (1981): A probabilistic synthesis of precursory phenomena, in Earthquake Prediction: An International Review, 566–574, eds. Simpson, D. & Richards, P., Am. Geophys. Union, Washington, DC.

- 朝日新聞社 (2006): イワシ入れ食い 勝浦・豊浜漁港付近, 2006年3月14日付朝刊, 千葉・1地方, 35.
- 朝日新聞社 (2009): 大量のイワシ, 砂浜を埋める, 2009年12月25日付夕刊 1 総合, 1.
- 朝日新聞社 (2012a): イワシが大量死, 水中で酸欠? 大原漁港に200トン, 2012年6月5日付朝刊, ちば首都圏・1地方, 29.
- 朝日新聞社 (2012b): 海岸6キロにマイワシ死骸 白子, 2012年12月15日付朝刊, ちば首都圏・1地方, 29.
- 朝日新聞社 (2014): マイワシ, 大量漂着 むかわ→浦河にも 海水温影響か, 2014年11月7日付朝刊, 1道, 27.
- 朝日新聞社 (2016): イワシびちびち, 光の海岸, 2016年5月17日付朝刊 山東・1地方, 29.
- 朝日新聞社 (2018a): 大量のイワシ, 漂着 陸奥湾東側沿岸, 2018年2月7日付朝刊, 青森全県・1地方, 29.
- 朝日新聞社 (2018b): 稚内に流氷が接岸, 大量のマイワシも 寒波で弱る?, 2018年2月7日付朝刊, 1道, 27.
- 朝日新聞社 (2019): イワシの死骸, 大量打ち上げ 原因は不明 西宮, 2019年12月4日付朝刊, 神戸・1地方, 27.
- 朝日新聞社 (2021): マイワシ, 太平洋で大量死 海水温低下なく原因不明, 2021年12月14日付朝刊, 青森全県・1地方, 25.
- 朝日新聞社 (2022): 択捉島にイワシ大量漂着 18年以来, 気候変動原因か, 2022年1月18日付朝刊 1道, 21.
- 朝日新聞社 (2023a): カタボイワシ大量死 志摩の波切漁港, 2023年12月16日付朝刊, 三重県全県・1地方, 25.
- 朝日新聞社 (2023b): イワシ・サバ, 大量の死骸 函館の海岸, 廃棄対象は1200トン, 2023年12月13日付朝刊 北海道総合, 24.
- 朝日新聞社 (2023c): 糸魚川の海岸にイワシ大量漂着 イルカに追い立てられ?, 2023年2月9日付朝刊, 新潟全県・1地方, 17.
- フジニュース放送網 (2024): また“イワシの大群”が漂着 港が一面埋め尽くされる 海で何が? 北海道で相次ぐ大量出現「コンブ作業」へ影響懸念する声も, 2024年5月29日付オンラインニュース, <https://www.fnn.jp/articles/-/704528> (2024/8/28閲覧)
- 魚食普及推進センター (2024): イワシの大量死・大量漂着 その原因を考える, https://osakana.suisankai.or.jp/health_safe/9435 (2024/8/27閲覧)
- ヘルムート・トリブッチ著・渡辺正訳 (1985): 動物は地震を予知する, 朝日選書, 朝日新聞社, 東京, 221p.
- 北海道文化放送 (2021): 北海道各地でイワシ大量死 続々発覚…脂で白く濁る海 専門家「マグロカイルカに追いかけれ”酸欠”か」, 北海道ニュースUHB, <https://www.youtube.com/watch?v=xweMqoLKkxQ> (2024/8/28閲覧)
- 北海道新聞社 (2024): せたなにも大量イワシ, 2024年1月12日付朝刊 第4社会, 23.
- 河北新報社 (2022): 釜石の漁港にイワシの大群「どんどん釣れる」「夕飯の唐揚げに」, 2022年4月7日 ONLINE, <https://kahoku.news/articles/20220406khn000043.html> (2024/8/27閲覧)
- 気象庁 (2024a): 令和6年能登半島地震の関連情報, https://www.jma.go.jp/jma/menu/20240101_noto_jishin.html (2024/8/14閲覧)
- 気象庁 (2024b): 震源データ, <https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/bulletin/hypo.html> (2024/10/5閲覧)
- 気象庁 (2024c): 震源リスト, https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/daily_map/index.html (2024/10/5閲覧)
- 気象庁 (2024d): 震度データベース検索, <https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.html> (2024/10/10閲覧)
- 黒田一紀 (2015): 北海道日高沿岸で発生したマイワシの漂着・斃死現象, 水産海洋研究, 79 (4), 308-315.
- 毎日新聞社 (2001): イワシが大量死, 酸欠カーー室蘭の高砂川と知利別川, 2001年6月6日付北海道朝刊, 22.
- 毎日新聞社 (2012): イワシ大量死: 三浦・剣先灯台付近で1万匹 有害物質は不検出, 2012年6月15日付, 地方版/神奈川, 19.
- 毎日新聞社 (2017): マイワシ大量死: 堀川に1万4000匹 名古屋, 2017年9月14日付, 地方版/愛知, 23.
- 毎日新聞社 (2023): イワシ大量死: 熊本, 長崎でイワシ大量死, 2023年10月21日付, 地方版/熊本, 21.
- McGuire, J.J., Boettcher, M.S., and Jordan, T.H. (2005): Foreshock sequences and short-term earthquake predictability on East Pacific Rise transform faults, *Nature*, 434 (7032), 457-461.
- Molchan, G. M. (1991): Structure of optimal strategies in earthquake prediction, *Tectonophysics*, 193, 267-276.

- Molchan, G., and Kagan, Y. (1992): Earthquake prediction and its optimization, *J. Geophys. Res.*, 97, 4823–4838.
- moto-tomin2sei (2023): 北方領土の話題と最新事情 国後島オホーツク海側沿岸でのイワシの大量死の原因は？ クリル自然保護区が解説, <https://moto-tomin2sei.hatenablog.com/entry/20230123/1674436115> (2024/8/27閲覧)
- 新潟日報社 (1981): 迷惑！小羽イワシ“大漁”「操業の邪魔」と投棄 下越沖, 带状にどっかり, 1981年4月16日付朝刊, 17.
- 日本テレビ放送網 (2024): 昨年度4回道内各地にイワシ大量漂着…処分にかかった費用実に1945万 1位は函館580トン, 2024年6月6日付オンラインニュース, <https://news.ntv.co.jp/category/society/ste6f5972ed08e41058639d8efefc44c2e> (2024/8/28閲覧)
- Orihara, Y., Kamogawa, M., Nagao, T. and Uyeda, S. (2012): Preseismic anomalous telluric current signals observed in Kozu-shima Island, Japan. *Proc Nat Acad Sci USA*. 109, 19125–19128, DOI: 10.1073/pnas.1215669109
- 織原義明・鴨川仁・野田洋一 (2014): 東北地方太平洋沖地震前の漁獲異常に関する調査－『三陸海岸大津波』との比較－, *地震*, 67 (2), 81-85.
- 織原義明・野田洋一 (2015): 2011 年東北地方太平洋沖地震前に発生したマス・ストランディング-鹿島灘における鯨類のストランディングと日本周辺の地震との関係－, *東海大学海洋研究所報告*, 36, 39-46.
- Orihara, Y., Kamogawa, M., Noda, Y. and Nagao, T. (2019): Is Japanese folklore concerning deep-sea fish appearance a real precursor of earthquakes?, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, <https://doi.org/10.1785/0120190014>
- 織原義明 (2022): ボラの大量死と地震との関連性の検討, *東海大学海洋研究所研究報告*, 44, 27-36.
- 十勝毎日新聞社 (2021): 浜辺に大量のイワシの死骸 広尾・えりも境界近辺, 2021年11月22日付 News Web, <https://kachimai.jp/article/index.php?no=547488> (2024/8/27閲覧)
- TSURINEWS (2020): 新潟の海岸に『イワシ』が大量漂着 実は昔からよくある現象だった?, <https://tsurinews.jp/133183/> (2024/8/27閲覧)
- Wang, T., Zhuang, J., Kato, T., and Bebbington, M. (2013): Assessing the potential improvement in short-term earthquake forecasts from incorporation of GPS data, *Geophysical Research Letters*, 40, 2631–2635.
- Woith, H., Petersen, G. M., Hainzl, S. and Dahm, T. (2018): Review: Can Animals Predict Earthquakes?, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, <https://doi.org/10.1785/0120170313>
- 読売新聞社 (1944): [紙弾], 1944年4月20日付朝刊 農林水産, 2.
- 読売新聞社 (1991): 道頓堀川にイワシの大群 漁船に追われ? 5キロそ上, 1991年11月28日付大阪夕刊, 夕2社, 18.
- 読売新聞社 (2001): 雄勝町の熊沢漁港でカタクチイワシ大量死 海底にたい積, 漂う悪臭, 2001年11月29日付東京朝刊 宮城2 33.
- 読売新聞社 (2013): 佐渡にイワシの大群, 2013年10月16日付東京朝刊, 新潟北, 33.
- 読売新聞社 (2015): イワシ 海岸埋め尽くす 鹿嶋 サメに追われ漂着か, 2015年10月17日付東京朝刊, 茨城東, 31.
- 読売新聞社 (2020): 水温上昇で酸欠? 魚大量死 函館港, 2020年9月2日付東京朝刊, 道社A, 27.
- 読売新聞社 (2021): 三宅村で大量の魚死骸, 2021年2月16日付東京朝刊, 都民, 31.
- 読売新聞社 (2002): カタクチイワシ, 赤碓港で入れ食い 普段は岩壁で釣れず, 太公望ら満足, 2002年11月1日付大阪朝刊, 鳥取, 31.
- 読売新聞社 (2022a): 大量のイワシ 打ち上げ 水温低下 原因か 横浜 海岸全域で, 2022年3月13日付東京朝刊, 青森, 29.
- 読売新聞社 (2022b): イワシ打ち上げ 寒波で衰弱死か 稚内で原因調査, 2022年1月25日付東京朝刊, 道社A, 31.
- 読売新聞社 (2023a): 魚大量死 回収年末まで 函館・戸井漁港 漂着1100トン, 2023年12月16日付東京朝刊, 20.
- 読売新聞社 (2023b): 大量イワシ 高岡に漂着, 2023年2月15日付東京朝刊, 富山, 27.
- 読売新聞社 (2023c): 三重・志摩の漁港でイワシ大量死, 大型の魚に追われ迷い込み酸欠状態か…業者などが85トン分回収, 2023年12月15日付オンライン記事, <https://www.yomiuri.co.jp/national/20231214-OYT1T50335/> (2024/8/27閲覧)
- 読売新聞社 (2024): イワシの死骸 海岸7キロに 小樽 海水温低下が原因?, 東京夕刊 札夕三道, 10.
- 吉村昭 (2004): 三陸海岸大津波, 文藝春秋, 東京, 191p.
- Zechar, J. D. and Jordan, T. H. (2008): Testing alarm-based earthquake predictions. *Geophys. J. Int.*, 172, 715–724.

Zechar, J. D. (2010): Theme VI – earthquake predictability & related hypothesis testing evaluating earthquake predictions and earthquake forecasts: a guide for students and new researchers, 1–27, doi: 10.5078/corssa-77337879.