



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—

織原 義明^{1), 2)}* · 野田 洋一³⁾

Mass Stranding before the 2011 Tohoku Earthquake, Japan
-Correlation between strandings of cetaceans at the Kashima-Nada
beach and earthquakes around Japan-

Yoshiaki Orihara^{1), 2)} and Yoichi Noda³⁾

Abstract

There was a mass stranding of Melon-headed whales (*Peponocephala electra*) at the Kashima-Nada beach, Japan on March 4, 2011. Seven days after this event, the 2011 M9.0 Off the Pacific coast of the Tohoku Earthquake (Tohoku EQ) occurred in 300 km northeast from the beach. Hence, some people presumed that the event might be a precursor of the Tohoku EQ. In this study, statistical analyses were performed to determine the level of correlation between strandings at the Kashima-Nada beach and EQs around Japan. We concluded that the strandings were not correlated with the EQs. In addition, the mass stranding on March 4, 2011 and the Tohoku EQ had no relation to each other.

1) 東海大学海洋研究所 〒424-8610 静岡県静岡市清水区折戸 3-20-1

Institute of Oceanic Research and Development, Tokai University, 3-20-1 Orido, Shimizu-ku, Shizuoka, 424-8610 Japan

2) 東京学芸大学物理学科 〒184-8501 東京都小金井市貫井北町 4-1-1

Department of Physics, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikitamachi, Koganei, Tokyo 184-8501, Japan

3) 有限会社テラテクニカ 〒208-0022 東京都武蔵村山市榎 3-25-1

Tierra Tecnica Ltd., 3-25-1 Enoki, Musashimurayama, Tokyo 208-0022, Japan

* Corresponding author : orihara@sems-tokaiuniv.jp

(2015年1月31日受付 / 2015年3月1日受理)

緒 言

四方を海で囲まれた地震多発国の日本では、古くから海洋生物と地震とを関連付けるような言い伝えがある。漁獲異常との関係については、Terada (1932a; 1932b; 1933) が1930年に発生した伊豆伊東地域での群発地震で、西伊豆におけるアジの漁獲高が増えるるとほぼ同時に群発地震数も増えるといった正の相関を示した。また、明治三陸地震(1896年6月15日、マグニチュード:M8.2)の直前にマグロ、イワシ、カツオが豊漁であったことや、昭和三陸地震(1933年3月3日、M8.1)の前にイワシの豊漁が継続していたことなどが吉村(2004)にまとめられている。織原他(2014)は、明治三陸地震や昭和三陸地震同様に三陸沖を震源域とする東北地方太平洋沖地震(2011年3月11日、M9.0)について、主要な漁港の月ごとの漁獲量を調べた。その結果、震源域に沿った8つの漁港で本震の前月にあたる2011年2月のマイワシ漁獲量に異常が認められた。しかし、同様の漁獲異常は別の期間でも見られたことから、地震と漁獲異常との関連はこの情報だけでは不確かであるとした。

海洋生物と地震との関係については漁獲異常のほかに、深海魚が地震の前に浜に打ち寄せられたといった記録が残っている(Rikitake, 1976; 末廣, 1968; 末廣, 1976)。このように魚類と地震との関係が指摘されていることから、鯨類などの海棲哺乳類についても同様の現象がみられる可能性が考えられる。例えば、近年では東北地方太平洋沖地震の7日前にあたる2011年3月4日に、震源から約300 km南西に位置する茨城県鹿嶋市の下津海岸でカズハゴンドウが54頭打ち上げられた。このように海棲哺乳類が生きたまま陸に乗り上げることに加え、死体での打ち上げや本来の生息範囲ではないところに迷い込むことも含めた現象のことをストランディングという(例えば、山田, 2000; 石川, 2008)。そのうち、2011年3月4日の事例のように複数の個体が同時に座礁する現象はマス・ストランディングと呼ばれる。ストランディング事例の多くは原因不明だが、鯨類の生存漂着要因として大隅(1993)は、エコーロケーションの乱れ、衰弱による避溺死、天候や磁気の乱れ、リーダーへ追従などを示している。このうちエコーロケーションの乱れは、漂着鯨類の解剖調査から脳や内耳などへの寄生虫要因であるこ

とが多く、イルカのマス・ストランディングについても寄生虫性聴覚神経障害説が提唱されている(森満, 1991; Morimitsu *et al.*, 1986, 1987)。また、病気または傷ついた個体に付き添う社会的行動(Wynne-Edwards, 1962)や自殺行為(Sergeant, 1982)、近年では海軍によるソナーの影響で鯨類のストランディング、特にアカボウクジラのストランディングが起こるという指摘がある(例えば、Jepson *et al.*, 2003)。さらに、磁気嵐や満月の日にストランディングが多いことから、鯨類の回遊は地磁気と関係し、海岸線と地磁気との角度がストランディングの起こりやすさに関係しているといった説もある(Klinowska, 1986)が、それを否定する研究もある(Braby and Frew, 1994)。一方、地磁気については地震先行現象としてその異常変動が指摘されている(例えば、Fraser-Smith *et al.*, 1990; Hayakawa *et al.*, 1996)。鯨類のストランディングと地震との関連付けについては、地震前に地磁気異常があるという報告と地磁気の乱れがストランディングを引き起こすといった説の結びつけが考えられる。地震の前に地磁気異常が起こり、それにより鯨類の方向感覚がマヒしストランディングに至るといったシナリオ(仮説)である。仮にこのようなシナリオが成り立つとするなら、ストランディングと地震との間に関連関係が見いだせるはずである。

本研究では2011年3月4日に茨城県鹿嶋市の下津海岸で発生したカズハゴンドウのマス・ストランディングと、その7日後の東北地方太平洋沖地震との関連性を探るために、鹿島灘に面した海岸で2011年3月以前に発生した鯨類のストランディングと日本周辺で発生した地震との関係を調べた。

ストランディング・データ及び地震データ

日本では1986年から(財)日本鯨類研究所がストランディングの情報収集を始め、1996年以降は国立科学博物館と共同で情報収集とストランディングに関する啓発活動を積極的に行うようになった。また、水産庁は1992年から座礁・混獲鯨類の取り扱いに関しての検討委員会を設置し、各都道府県の水産担当部署に該当事例の報告を求め、漂着した死体の処分を市町村及び海岸管理者に義務付けた。これにより、地方行政がストランディングに深く関わることとなった(石川, 2008)。今日ではストラン

ディングの記録が(財)日本鯨類研究所のホームページ (<http://www.icrwhale.org/stranding0212.html>) で一般公開されている。本研究ではこの公開されているストランディング・レコードに、補足情報として過去の新聞記事(毎日新聞社, 1999; 他) に掲載された事例を加えストランディング・データとした。ストランディング・データは古いもので1837年の記録があるが、鹿島灘に面した海岸で発生したマス・ストランディングは、1927年と1928年にそれぞれ1回ずつ記録されて以降2000年まで記録されていない。これは(財)日本鯨類研究所のホームページで公開されているストランディング・レコードが2002年以降に報告されたものであることによるものと考えられる。したがって、本研究では2001年1月1日から2011年3月11日までを対象期間とした。

地震データは気象庁の一元化震源カタログを用いた。対象とする地震は日本周辺の海域と陸海境界域を震源とするM6.0以上で震源の深さは100 km以浅とした。リードタイムについては、東北地方太平洋沖地震前のマス・ストランディングが地震の7日前に発生している。しかし、7日ではやや厳しいと考え30日とした。また、M6.0以上の地震が発生した後30日以内にその地震の震源から半径200 km以内にある地震は余震として除去した。その結果、対象となる地震は全部で91個となった(Fig. 1)。なお、東北地方太平洋沖地震は2日前の2011年3月9日にM7.3の地震が発生しているので、一連の地震活動とみなし個別の地震としてはこの数に含めていない。

本研究で用いる鯨類のストランディング・データは、(財)日本鯨類研究所により公開されているストランディング・レコードの状況が「混獲」「漂流」「高速船と衝突」「捕獲」「目視情報」に分類されたものと、「漂着」であってもかなりの時間が経過したとみられる「ほぼ白骨化」や「前肢のみ」の注釈がついたものを除いた。その結果、ストランディング・データの総数は1891回(そのうち新聞記事による補足データは17回)となった。

次にストランディングの対象範囲であるが、鹿島灘は茨城県東部の大洗岬から千葉県東部の犬吠埼に広がる太平洋の海域で、茨城県の鹿嶋市、神栖市、鉾田市、大洗町、そして千葉県銚子市がこれに面している。そこで、ストランディング・データから“場

所”がこれらの自治体に該当するものを抜き出した。その結果、鹿島灘に面した海岸で発生したストランディングは全部で51回、そのうちマス・ストランディングは6回となった(Table. 1)。また、Table. 2は種別の回数を表しており、カッコ内の数字はそのうちのマス・ストランディングの回数である。種不明も含めると15種類となり、スナメリが28回と最も多くカズハゴンドウは2011年3月4日を含め4回と3番目であった。しかし、その全てがマス・ストランディングであった。

ストランディングと地震との対応は1対1だけではなく、多対1や1対多も認めている。例えば、1回のストランディングから30日以内に発生した地震が2個以上あった場合、それらすべての地震を対応する地震とした。また、ひとつの地震の30日前までに2回以上のストランディングがあった場合もすべて対応するストランディングとした。

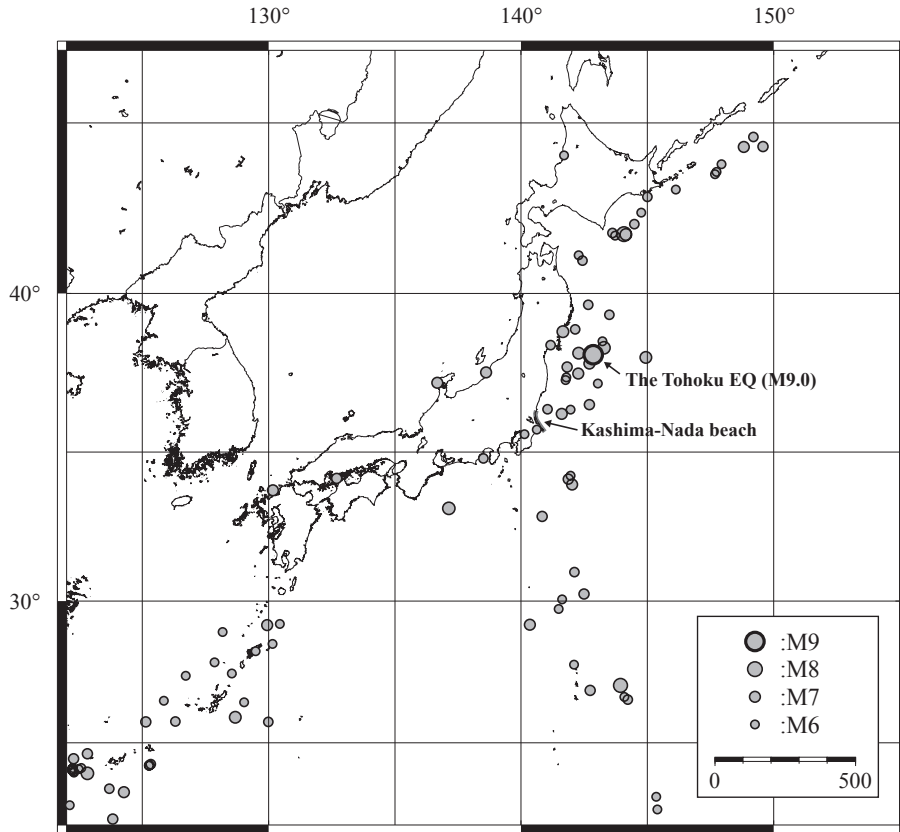


Fig. 1 The selected 91 EQs ($M \geq 6.0$) and the Tohoku EQ after Japan Meteorological Agency (JMA) seismic catalogue from Jan. 1, 2001 to Mar. 11, 2011.

Table. 1 List of strandings at the Kashima-Nada beach

Year	All stranding	Mass stranding	Stranding with EQs
2001	2	1	0
2002	2	2	2
2003	1	0	1
2004	4	0	2
2005	6	0	5
2006	11	1	3
2007	5	0	1
2008	8	0	3
2009	3	0	2
2010	7	1	5
2011	2	1	1
Total	51	6	25

Table. 2 The number of strandings of each species at Kashima-nada. Figures in parentheses indicate the number of mass stranding.

English name	Scientific name	Event
Dwarf sperm whale	<i>Kogia sima</i>	8 (1)
Melon-headed whale	<i>Peponocephala electra</i>	4 (4)
Pygmy sperm whale	<i>Kogia breviceps</i>	1
Rough-toothed dolphin	<i>Steno bredanensis</i>	1
Striped dolphin	<i>Stenella coeruleoalba</i>	2
Finless porpoise	<i>Neophocaena phocaenoides</i>	28
North Pacific right whale	<i>Eubalaena japonica</i>	1
Hubbs' beaked whale	<i>Mesoplodon carlhubbsi</i>	1
Risso's dolphin	<i>Grampus griseus</i>	1
Sperm whale	<i>Physeter macrocephalus</i>	1
Common minke whale	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	1
Unidentified dolphin	-	1 (1)
Unidentified baleen whale	-	1

結果と考察

鹿島灘に面した海岸における51回のストランディングと日本周辺で発生した91個の地震(M \geq 6.0)との関係について、ストランディング発生後30日以内に地震が発生した場合は25回あった(Table. 1)。このとき地震を伴ったストランディング数を全ストランディング数で割った**警告率(予知率)**は49.0%(25/51)となる。次に全地震数に対する先行ストランディングがあった地震数の割合**(成功率または適中率)**については、先行するストランディングのある地震が全部で28個あるので30.8%(28/91)になる。ただし、この結果は鹿島灘のストランディングと日本全域の地震との時間相関のみの割合である。

鹿島灘のストランディングと日本周辺で発生した地震に相関があると言えるのかを検証するために、ストランディングを期間内にランダムに発生させ、それにより作成された擬似ストランディング・カタログと実際の地震との対応について1000回のテストを行い、その**警告率**の平均と実際の**警告率**を比較する実験を行った(以下、ランダム・テスト)。ランダム発生には高品質の擬似乱数を高速で生成するアルゴリズムのメルセンヌ・ツイスタ(Matsumoto

and Nishimura, 1998)を用いた。その結果、擬似カタログによる**警告率**の平均は52.3%となり、実際の**警告率**49.0%のほうが低くなった(Fig. 2a)。同様のテストを**成功率**に対しても行くと、擬似地震カタログによる**成功率**の平均は33.8%で、実際の**成功率**30.8%のほうがやはり低くなった(Fig. 2a)。以上の検証により、鹿島灘における鯨類のストランディングと日本周辺で発生したM6.0以上の地震との間に相関はないと言える。

次に空間相関も考慮し、東北地方太平洋沖地震を含む青森県から千葉県太平洋岸側で発生した地震を対象とした。この条件に当てはまる地震総数は21個で、先行するストランディングがあった地震は8個となり、**成功率**は38.1%(8/21)と日本全域の地震を対象とした場合よりも高くなるが、**警告率**は地震を伴ったストランディング数が10回なので、19.6%(10/51)と逆に低くなる。ここで上記のようにランダム・テストを行うと、**警告率**と**成功率**の平均はそれぞれ16.6%と33.3%となり、実際の割合の方が高くなった(Fig. 2b)。しかし、実際の割合はいずれも1シグマの範囲内であり、鹿島灘における鯨類のストランディングと、青森県から千葉県太平洋岸側で発生したM6.0以上の地震との間に相関はないと言える。

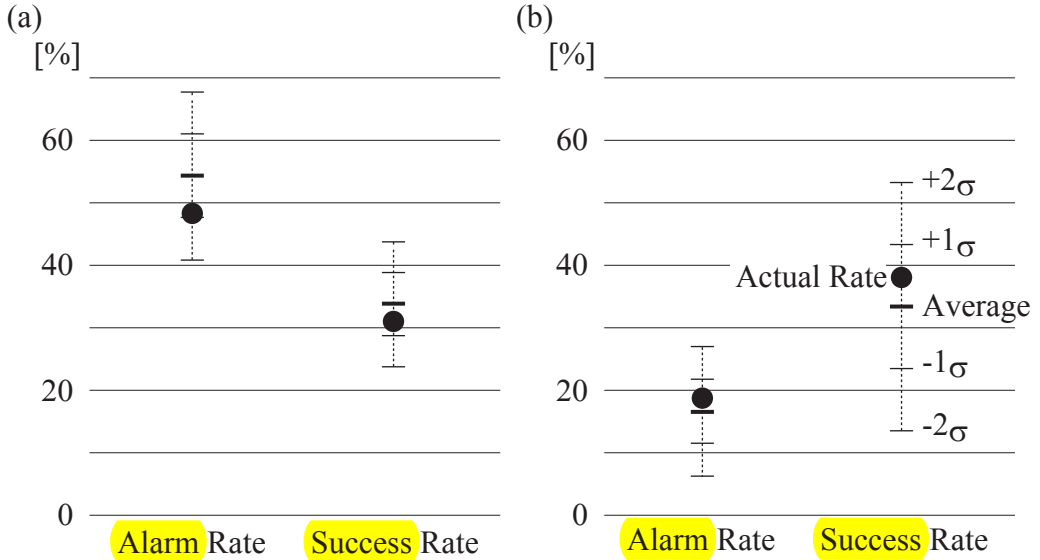


Fig. 2 Alarm rate and success rate in the randomly generated catalogues. (a) 51 strandings and 91 EQs. (b) 51 strandings and 21 EQs. Thick bars are their averages and thin bars are sigma. Black points show the actual rates.

最後に2011年3月4日を含めたマス・ストランディングに絞って考察する。Table. 3は鹿島灘の海岸で記録されたマス・ストランディングとそれぞれ30日後までに発生した地震をまとめたものである。地震の発生場所を鹿島灘周辺ではなく日本全域にするなら、6回のマス・ストランディングのうち4回で地震が発生したことになり、警告率は66.7%と高い割合になるが、逆に成功率は4.4%(4/91)とかなり低くなる。この場合、地震91個に対し警告

となるマス・ストランディングは全部で6回と極端に少ないため、そもそも両者に相関はないと考えるべきである。因みに1000回のランダム・テストによる警告率の平均は54.5%で、実際の警告率66.7%のほうが高いが、1シグマの74.5%の範囲内なのでこの結果からも相関はないと言える。

Table. 3 List of Mass Stranding at the Kashima-Nada beach

Date	English name	Number	Earthquake	Date	M
Feb. 11, 2001	Melon-headed whale	50	-	-	-
Feb. 25, 2002	Melon-headed whale	85	Around Ishigakijima Island	Mar. 26, 2002	7.0
Mar. 26, 2002	Dwarf sperm whale	2			
Apr. 23, 2006	Unidentified dolphin	8	-	-	-
Apr. 18, 2010	Melon-headed whale	4	Around Ishigakijima Island	Apr. 26, 2010	6.6
			Around Ogasawara Islands	May 3, 2010	6.1
Mar. 4, 2011	Melon-headed whale	54	Off Tohoku Region	Mar. 9, 2011 (Mar. 11, 2011)	7.3 (9.0)

鹿島灘の海岸から震源域までの距離と群頭数の関係について考察する。東北地方太平洋沖地震の震源まではおよそ 300 km であるが、石垣島周辺の地震は約 2,100 km、小笠原諸島周辺の地震は約 700 km と、いずれも東北地方太平洋沖地震までの距離よりも遠い。しかし、群頭数は東北地方太平洋沖地震前の 54 頭より多い場合や少ない場合があり一貫性がない。また、群頭数とマグニチュードの関係でも同様のことが言える。

種別ではカズハゴンドウが 4 個すべての地震に当てはまる。また、2002 年 3 月 26 日の石垣島周辺 (M7.0) ではオガワコマッコウも対象となるが、2010 年 4 月 26 日 石垣島周辺 (M6.6) ではオガワコマッコウはない。しかし、オガワコマッコウのマス・ストランディングは地震と同日である。本研究ではストランディングの正確な時間まではわからないので地震と同日の場合も対応するものとしたが、それを除きさらに種不明のイルカを除けば鹿島灘のマス・ストランディングはすべてカズハゴンドウになる。カズハゴンドウのストランディングは日本全国で計 21 回記録されており、そのうち鹿島灘は 4 回と全体の 19.0 % (4/21) となる。また、この 21 回のうちマス・ストランディングは 7 回あり、鹿島灘のストランディングは全てマス・ストランディングであることから、全体の 57.1 % (4/7) を占めていることになる。鹿島灘でカズハゴンドウのマス・ストランディングがあるとその後石垣島周辺、小笠原諸島周辺、または青森県から千葉県側の太平洋岸側のいずれかで地震が発生すると考えられなくもないが、2001 年以降にこれら 3 つエリアで発生した地震は全部で 48 個あり、**成功率**は 8.3 % (4/48) とかなり低くなる。また、東北地方太平洋沖地震と同じ青森県から千葉県の太平洋岸側に絞った場合、全地震数は 20 個で**成功率**は 5.0 % (1/20) とさらに低くなる。

前述したようにランダム・テストで両者に相関はなかった。また、鹿島灘の海岸から震源域までの距離と群頭数にも地震のマグニチュードと群頭数の間にも関連性はなかった。さらに、震源域を石垣島周辺、小笠原諸島周辺、そして青森県から千葉県の太平洋岸側に絞った場合でも、鹿島灘のマス・ストランディングと地震との間に関連性はなかった。以上より、鹿島灘に面する海岸は地震に関係なく単にカズハゴンドウのマス・ストランディングが日本の中でも多い地域と考えるべきであろう。

結 論

鹿島灘における鯨類のストランディングと M6.0 以上の海域および陸海境界域を震源とする地震との関係を調べたところ、日本全域の地震を対象とした場合、東北地方太平洋沖地震の震源を含む青森県から千葉県までの太平洋沖の地震を対象とした場合、いずれにおいても相関はなかった。また、東北地方太平洋沖地震の 7 日前にはマス・ストランディングが発生したことから、マス・ストランディングについて地震との関係を検証した。地震発生場所を東北地方太平洋沖だけでなく日本全域とすると、6 回のマス・ストランディングのうち 4 回で地震が発生したことになった。しかし、マス・ストランディングを伴ったこれら 4 回の地震と同エリアでは他の期間にも多数の地震が発生しており、マス・ストランディングがあればそのエリアで地震があるとはいえなかった。さらに、対象地域を東北地方太平洋沖地震が含まれる青森県から千葉県までの太平洋沖とした場合も同様の結果となった。以上から統計的には 2011 年 3 月 4 日に鹿島灘で確認されたカズハゴンドウのマス・ストランディングと、同年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震とは関係がなかったと言える。

謝 辞

本稿の執筆にあたっては、長尾年恭東海大学教授ならびに鴨川仁東京学芸大学准教授には貴重な助言を頂いた。あらためて感謝申し上げます。なお、本研究は東京大学地震研究所公募研究 (課題番号: 2930, 2014-2016) の助成、公益財団法人東京海上各務記念財団地震研究助成 (2014) および株式会社東京海上研究所の研究助成 (2014) を受けたものである。

引用文献

- Terada, T. (1932a): On some probable influence of earthquakes upon fisheries. *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, **10**, 393-401.
- Terada, T. (1932b): Earthquakes and fisheries. *Proc. Imp. Acad., Jpn.*, **8**, 83-86.
- Terada, T. (1933): Earthquakes and fisheries. II. *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, **11**, 714-716.
- 吉村昭 (2004): 三陸海岸大津波. 文藝春秋, 東京, 191p.
- 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.
- Rikitake, T. (1976): *Earthquake Prediction*. Elsevier, Amsterdam, 357p.
- 末廣恭雄 (1968): 地震に対する魚類の異常生態. *京急油壺マリンパーク水族館年報*, **1**, 4-11.
- 末廣恭雄 (1976): 地震前の魚類の異常. *日本の科学と技術*, **特集地震** **17**, 76-81.
- ヘルムート・トリプツ著・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.
- 山田格 (2000): 海の哺乳類のストランディング. *日本野生動物医学学会誌*, **5** (1), 11-18.
- 石川創 (2008): 漂着鯨類の情報収集・蓄積と社会的活用. *沿岸海洋研究*, **45** (2), 85-90.
- 大隅清治 (1993): *クジラのはなし*. 技報堂出版, 東京, 187pp.
- 森満保 (1991): イルカの集団上陸死 寄生虫性聴神経障害をめぐって. *科学*, **61**, 303-306.
- Morimitsu, T., Nagai, T. and Ide, M. (1986): Parasitogenic octavus neuropathy as a cause of mass stranding of odontoceti. *J. Parasitol.*, **72**, 469-472.
- Morimitsu, T., Nagai, T., Ide, M., Kawano, H., Naichuu, A., Kono, M. and Ishii, A. (1987): Mass stranding of odontoceti caused by parasitogenic eighth cranial neuropathy. *J. Wildlife Dis.*, **23**, 586-590.
- Wynne-Edwards, V. C. (1962): Animal dispersion in relation to social behavior. Oliver and Boyd, Edinburgh, 653p.
- Sergeant, D. E. (1982): Mass standings of toothed whales (Odontoceti) as a population phenomenon. *Sci. Rep. Whales Res. Inst.*, **34**, 1-47.
- Jepson, P. D., Arbelo, M., Deaville, R., Patterson, I. A. P., Castro, P., Baker, J. R., Degollada, E., Ross, H. M., Herráez, P., Pocknell, A. M., Rodríguez, F., Howie, F. E., Espinosa, A., Reid, R. J., Jaber, J. R., Martin, V., Cunningham, A. A. and Fernández, A. (2003): Gas-bubble lesions in stranded cetaceans. *Nature*, **425**, 575-576.
- Klinowska, M. (1986): Cetacean live stranding dates relate to geomagnetic disturbances. *Aquatic Mammals*, **11**, 109-119.
- Brabyn, M. and Frew, R. V. C. (1994): New Zealand herd stranding sites do not relate to geomagnetic topography. *Marine Mammal Science*, **10**, 195-207.
- Fraser-Smith, A. C., Bernardi, A., McGill, P. R., Ladd, M. E., Helliwell, R. A. and Villard, Jr., O. G. (1990): Low-Frequency Magnetic Field Measurements near the Epicenter of the Ms 7.1 Loma Prieta Earthquake. *Geophys. Res. Lett.*, **17**, 1465-1468.
- Hayakawa, M., Kawate, R., Molchanov, O.A. and Yumoto, K. (1996): Results of ultra-low-frequency magnetic field measurements during the Guam earthquake of 8 August 1993. *Geophys. Res. Lett.*, **23**, 241-244.
- 日本鯨類研究所 (2014): ストランディング・レコード (2002年～2011年12月受付).
<http://www.icrwhale.org/stranding0212.html> (参照: 2014/3/25)
- 毎日新聞社 (2006): 毎日新聞 2006年3月4日付朝刊茨城県版, 27面
- 富山新聞社 (2001): 富山新聞 2001年2月26日付, 34面
- 南日本新聞社 (2001): 南日本新聞 2001年3月10日付夕刊, 1面
- 北海道新聞社 (2001): 北海道新聞 2001年5月12日付朝刊地方, 28面
- 琉球新報社 (2001): 琉球新報 2001年5月17日付朝刊, 24面
- 北海道新聞社 (2002): 北海道新聞 2002年3月20日付夕刊全道, 13面
- 南日本新聞社 (2002): 南日本新聞 2002年4月20日付朝刊, 33面
- 毎日新聞社 (2002): 毎日新聞 2002年5月17日付三重県版, 21面
- 琉球新報社 (2002): 琉球新報 2002年5月20日付朝刊, 3面
- 琉球新報社 (2002): 琉球新報 2002年5月26日付朝刊, 29面
- 北國新聞社 (2000): 北國新聞 2003年3月28日付朝刊, 30面
- 愛媛新聞社 (2003): 愛媛新聞 2003年3月30日付, 4面
- 中国新聞社 (2004): 中国新聞 2004年7月2日付朝刊
- 毎日新聞社 (2003): 毎日新聞 2003年11月25日付朝刊千葉県版
- 茨城新聞社 (2005): 茨城新聞 2005年9月6日付朝刊 A版
- 長崎新聞社 (2006): 長崎新聞 2006年4月8日付, 12面
- Matsumoto, M. and Nishimura, T. (1998): Mersenne Twister, A 623-dimensionally equidistributed uniform pseudorandom number generator. *ACM Trans. on Modeling and Computer Simulation*, **8**, 3-30.