

原 著

地球自転速度とマイワシ *Sardinops melanostictus* 漁獲量の 長期変動に関する研究

爲石日出生^{*1} 八木 信行^{*1} 清水 久芳^{*2}

*1 東京大学大学院農学生命科学研究科, 〒113-8657 東京都文京区弥生1-1-1

*2 東京大学地震研究所, 〒113-0032 東京都文京区弥生1-1-1

2021年3月30日受付, 2021年9月30日採録

Abstract

The volume of the catch in Japanese sardine has varied over a 60–68 year cycle. In this cycle, a high catch occurs one or two decades and a low catch continues for the rest of the period. This cycle was observed irrespective of any oceanographic conditions around Japan. Parallel cycles on sardine catches have been reported in various regions in the world, and that the period of the cycles and the direction of the changes are similar in distant regions all over the world. This paper examined the relationship between the speed of the Earth's rotation and the sardine catch volume. The results of this paper include: (i) The cyclical changes in the catch volume of sardine and the Earth's rotation rate have similar time-scale of about 60 years; (ii) The coefficient of determination between sardine catch volume and the Earth's rotation rate showed high values, total period for 63 years about $R^2=0.38$ (first period), $R^2=0.71$ (second period) and, $R^2=0.80$ (third period), $R^2=0.41$ (total period), and (iii) Relationship between the fluctuations of the Earth rotation rate and the changes of the primary production volume in the ocean surface was consistent. It was also suggested that original factor behind these phenomena can be explained by the movement of the Earth's liquid outer core.

Keywords: Earth's rotation rate, Sardine catch volume, Dynamo theory, Geomagnetic variation, Volume of primary production

1. はじめに

我が国の周辺海域で操業するわが国の漁船によるマイワシの漁獲量は、黒潮や親潮または暖水塊、冷水塊等の日本周辺海域の海況要因が毎年変動しているにもかかわらず、その海況変動とは無関係に60–68年の周期で漸増漸減を繰り返している(坪井, 1987a, 1987b, 1988; 杉本ら, 2005; Baumgartner *et al.*, 1992). その漁獲量が多い時で450万トンにも達し、少ない時で1万トン弱と最高時の漁獲量の高さや減少時の低さ及び増減幅においても他の魚種には比較にならない程大きい。さらに黒潮が流れる太平洋北西漁場、カルフォルニア海流が流れる北太平洋東部漁場、および南太平洋のフンボルト海流が流れる南太平洋東部ペルー沖漁場では、一部小型浮魚においてその同周期性が崩れている魚種もみられているが、マイワシは少なくとも2010年までは環太平洋で同期する傾向を維持しており(Chavez *et al.*, 2003; Oozeki *et al.*, 2019), 今後の動向が注目される。大西洋でも南米ブラジル沿岸のブラジル海流域(Luiz Eduard de Souza Mraes *et al.*, 2012), スペインのピゴ沖漁場や地中海のアドリア海漁場(Zupanovich, 1986)などの漁場において、その漁獲量の増減の周期と位相が地球規模で一致する傾向を持つことが指摘されている(Kawasaki, 1983)。このような漁獲量の増減は、資源量の増減に比例したものとみることができる。ただし近年は先進国では資源管理政策が導入され、漁獲量を人為的に制限する傾向があるため、その周期性や位相にズレが生じ始めている(Kawasaki, 2013)。

このようなマイワシの漁獲量の長期変動の原因を究

明するために過去に多くの研究が試みられてきた。例えば、北半球30°–90°Nの地上気温の長期変動とマイワシ漁獲量の関連(Cushing, 1975)、杉の木の年輪から得た長期の気候変動とマイワシ漁獲量との関連(平本, 1996)、さらに木の年輪から北アメリカの北西沿岸の気温(40°–50°N, 130°–110°W)を1600–1990年まで抽出し、マイワシの漁獲量と正の相関があることを発見している(Yasuda *et al.*, 2001)。海洋定点観測から得た水温長期変動とマイワシ漁獲量(友定, 1988)、黒潮流路の長期変動とマイワシ漁獲量との関係(青木ら, 1992)、PDO (Pacific Decadal Oscillation)の変動とマイワシ漁獲量との関係(高須賀, 2007; 友定, 2008)などがある。しかし、これらの海況環境と漁獲量の関係は、黒潮などの地域的な環境であり、気候変動においても北半球高緯度の地上気温変動やアリューシャン低気圧の変動など地域を限定した環境要因に基づく議論に留まっており、地球規模の要因を議論した内容ではない。このため今までの研究では、マイワシが60–68年で世界的に周期と位相が一致する傾向で変動することに対する原因究明には至っていない。マイワシの漁獲量変動が地球規模において周期と位相が一致する長期の環境要因を発見することは、原因究明においても重要になる(Mörner, 1993; Mörner, 1995)。本研究では、地球規模の要因の中でマイワシと同じ60–68年の周期を持つ現象を発見し、それを基にマイワシの長周期変動の原因を究明することを目指した。

地球規模で同じ約60年の周期(時間スケール)を持つ現象として、地磁気(Currie, 1973a; Braginsky, 1972; Rob-

erts *et al.*, 2007) と地球自転速度の変動 (Currie, 1973b; 若生, 1979; Roberts *et al.*, 2007) が存在する. この地球自転速度の観測には, 近年急速に発展した宇宙から地球全体の自然現象を測定する技術も用いられている. 例えば自転速度の微細な変化を観測する技術で超長基線電波干渉法 VLBI (Very Long Baseline Interferometry) などがある (横山, 1994). このため, 宇宙からの観測を利用することで地球自転速度に関して「地球回転の観測により海洋や大気グローバルな変動を捉えることができる (藤本ら, 2013)」とまで言及される時代になってきた. 一方, 地球自転速度変動の数十年スケールの変動の原因は, 地球の半径 6,370km のうち, その内部深さ 2,900-5,150km に分布する鉄の流体としての地球流体核 (外核) にあると指摘されている (Chao *et al.*, 2000). 地球流体核の流体運動によって発生する地磁気は, 地球生物を太陽風や宇宙の放射線から守る役割を果たしている. このような地球内部深層の地球流体核の運動を直接計測することは現在の観測技術では不可能であるが, 流体核表面付近の水平方向の運動は, 地磁気の変動と電磁流体力学的考察により推定できる (鳥海ら, 1997). 数十年スケールの地球自転速度変動の観測値と地球流体核の運動を利用して推定された地球自転速度変動の計算値は, 定量的によく一致することをすでに多くの研究者が指摘している (Chao, 2003; Ponsar *et al.*, 2003).

本研究はマイワシの漁獲量変動を起こす要因として, 地球全体を覆っている流体である海洋や大気の詳細な変動を把握するための指標になっている地球自転速度すなわち1日の長さ Length of Day (LOD) を取り上げる. この LOD がマイワシ長期変動の原因究明の鍵になるとの仮説を立て, 地球自転速度変動がマイワシ漁獲量の長期変動と関係している可能性が高いことを示す研究は, これまでになく唯一このことに関して述べた報告があるのみである (Tameishi *et al.*, 1989). この報告では, 1600 年代から 2000 年までの地球自転速度変動 (データは USNO: United States Naval Observatory のシミュレーションデータと IERS: International Earth Rotation and Reference Systems Service の観測データの合成による) と房総海域のマイワシ漁獲量の好不漁の長期変動 (菊地, 1976) との関連を述べている.

本研究の目的は, 地球自転速度の長期変動とマイワシの漁獲量の長期変動との関係を究明することにある. このためには, マイワシの餌となる基礎生産量 (植物プランクトン) 指数の長期変動と, 地球自転速度が影響する大気海洋循環による気圧指数 NPI (North Pacific Index) や水温の指数 PDO の長期変動との関係を求め, これらの指数を通して地球自転速度とマイワシ漁獲量の長期変動との関連性を解明する.

2. 材料と方法

本研究では, 地球自転速度変動とマイワシ漁獲量の好不漁の位相の対比を過去 350 年に亘って検討し, さらにマイワシ漁獲統計がある 1910 年からはマイワシ豊漁期と

地球自転速度の速い時期を 3 期に分類しそれぞれの相関, また, 1910-1972 年の 63 年間のすべての期間における地球自転速度とマイワシ漁獲量との相関を求め, 関連性を定量的に示した. 使用したデータは次のとおりである.

2.1 USNO による地球自転速度シミュレーションデータ

USNO (the US Naval Observatory) は, アメリカ海軍天文台としてその歴史は古く, 米国海軍だけでなく, 一般市民にも各種のデータを提供している. 提供データの中に地球自転速度の指標となる LOD (Length of day) のデータがあり, 本論文では 1657 年から 1984 年まで長期に亘って計算された歴史的な LOD のデータを利用した (Table 1). ただし, ここで示した LOD は, 測地的に求められた太陽を基準とした 1 日の長さから 86,400 秒を差し引いた値であり, 1 日の長さそのものではないことに注意する必要がある. さらにまた, 一般的に LOD は自転速度が速い方が 1 日の長さが短くなるためデータは負の記号で表現されるが, 本論文においてはマイワシ漁獲量の豊漁期と比較しその関係の判断を容易にするために, 自転速度の速い方を正の符号になるように変換し, 速度指数データとして表現し比較分析した.

2.2 IERS による地球自転速度実測データ

IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service) は, 国際天文学連合と国際測地学・地球物理学連合が共同して行っている事業である. 1985 年から

Table 1 LOD (length of day) simulation data (1657-1984)

Year	TDT-UT1	error	LOD	error
	(s)	(s)	(ms)	(ms)
1657.000	44	12	-4	41
1657.500	43	15	-5	48
1658.000	43	10	-6	58
1658.500	41	10	-6	38
1659.000	40	12	-6	37
1659.500	39	14	-5	45
1660.000	38	15	-4	53
1660.500	37	16	-3	59
.
.
.
.
.
.
1977.000	47.521	0.001	2.63	0.03
1977.500	48.034	0.001	2.59	0.03
1978.000	48.535	0.001	2.99	0.03
1978.500	49.099	0.001	2.60	0.04
1979.000	49.589	0.001	2.73	0.02
1979.500	50.102	0.001	2.66	0.02
1980.000	50.540	0.001	2.34	0.02
1980.500	50.975	0.001	2.33	0.02
1981.000	51.382	0.001	2.19	0.02
1981.500	51.810	0.001	2.11	0.02
1982.000	52.168	0.001	1.95	0.02
1982.500	52.572	0.001	2.12	0.03
1983.000	52.957	0.001	2.60	0.03
1983.500	53.434	0.001	2.14	0.04
1984.000	53.789	0.001	1.46	0.03
1984.500	54.087	0.001	1.45	0.04

(<https://www.usno.navy.mil/USNO/earth-orientation/co-products/long-term>, 2020 年 1 月 17)

2019年の最新のLODのデータは、このIERSの機関が提供したものを使用した。

2.3 マイワシ生産量統計データとマイワシ豊凶資料

マイワシの漁獲量 (Sardine catch volume, SCV) に関しては、1910年から2014年までを農林水産省統計情報部 (1984–2014) 『漁業・養殖業生産統計年報』を利用し、2015年から2019年の近年のデータは漁業情報サービスセンターが全国の産地市場から集計している「つながる情報、おさかなひろば」 (<http://www.osakana-hiroba.jafic.jp/>, 2020年2月5日) を使用した。

2.4 地球自転速度変動 (1657–2018年) とマイワシ豊凶時期の対応分析

地球自転速度変動とのマイワシ漁獲量との対応関係を検討し、地球流体核がマイワシ漁獲量の長期変動を励起していることを検証した。すなわち、過去350年に亘る地球自転速度の変動をグラフで表現し、マイワシの豊凶期は古文書からの読み取りや鹿児島湾奥部や別府湾の海底コアから柱状堆積物の中のマイワシの鱗を採取することから割り出されたデータを文献から抽出し、豊凶の年代として棒グラフや折れ線グラフで表現した。さらに、これらのグラフを地球自転速度変動と重ね合わせることでマイワシ豊凶期と地球自転速度の速い時期やその変動を比較検討した。

ここでの注意点は、過去350年に亘ってマイワシ漁獲量の豊凶と地球自転速度変動の長期傾向を検討する点にある。すなわち、①地球自転の長期変動傾向、②1910年以前のマイワシ推定漁獲量 (index Sardine Catch Volume, index SCV) とそれ以後の実際の漁獲量 (truth Sardine Catch Volume, truth SCV) の合成漁獲量傾向、③海底コアの堆積物による推定資源量の長期変動、および④古文書による豊凶の長期傾向など、単位の異なるものを同時に比較する点にある。これに関しては、数量と空間の2点に分ける必要がある。マイワシ資源は数十年と言う長期変動を繰り返すので漁獲量は慣例的に資源量を表していると見なされ、堆積物の量も数百年の時間の経過から堆積物の多い時代は資源量が多いと見なされている。古文書からは豊凶しか把握できず資源が高いか低いかの表現は可能であるが実際にその時代に見てきた人の記録であり真実性が高い。また、空間的にはマイワシ資源は、資源の増加期には「相変異」と言われ、分布域が大きく拡大する。資源が小さい時には内湾に分布し、多くなると内湾を含め日本周辺から太平洋全域に広がる傾向がある。このことにより、別府湾や鹿児島湾奥部の堆積物が資源の変動を表し、銚子沖の豊凶が資源多寡の指数として扱われてきた。いずれにしても、全てが指数として表現されており、また長期的な「傾向」を見るものであり、単位の異なる長期傾向を同時に表現した。

2.5 マイワシの漁獲統計値 (1910年以降) によるマイワシ豊凶期の分類と相関分析

農林水産省で漁業・養殖業生産統計が最初に計算された1910年以降、マイワシ漁獲の豊凶期は直近の2019年までに豊凶期の兆しの時期を含めると3回存在している。

すなわち、1920年から1940年の21年を第1期、1970年から1990年の21年を第2期、2010年から2019年の10年を第3期とし、豊凶時代を3期に分類した。マイワシ豊凶の3回の時期は、戦前や戦後の高度経済成長期また平成の経済安定期と異なる時代で生じており、漁船の数や漁船の装備 (一艘旋網・二艘旋網・トン数・魚探・スキヤニングソナー等) などが異なるため、資源量に対する漁獲量は3回とも異なる。

このため、漁獲量と地球自転速度の相関をみる場合、1910年から2019年の全期間の相関は資源量に対する漁獲量が異なるので整合性がなく、それぞれ3回の豊凶期に分け分析するのが最適であり、その後相関分析を試みた。また、1910年から1972年間の63年をすべての期間として、相関を検討した。ただし、1973年以降は、魚群探索機能 (大型で機動性のある1艘まき網漁船の急増、スキヤニングソナー、人工衛星による海洋観測に迅速化等) は大幅に上がり、漁獲努力量が質的にも格段に向上したため相関の検討年から除外した。

2.6 地球自転速度変動とマイワシ豊凶に関するその他の環境要因

LODとマイワシの豊凶の関係を解明するためには、地球自転速度の変動とともに多くの環境要因も変動する。その変動事例として、マイワシ自体の漁獲量 (Sardine Catch Volume, SCV) の変動があり、それを取り巻く環境要因として大気角運動量 (Atmospheric Angular Momentum, AAM)、北太平洋指数 (North Pacific Index, NPI)、太平洋10年振動指数 (Pacific Decadal Oscillation, PDO)、さらに北太平洋中央域で基礎生産量 (North Pacific Primary Production, NPP) が挙げられ、本論文の考察において重要となる。

3. 結果

3.1 地球自転速度変動とマイワシ豊凶期の対応関係

地球自転速度の変動は、前述したとおり地球自転速度指数 (LOD_{index}) として示した。一方、マイワシの漁獲量変動の豊凶期を示す図は、坪井 (1987a, 1987b, 1988) が古文書の記録を調査し日本の漁獲量の指標となる房総海域の豊凶期を1581年、1651年、1716年、1800年、1864年、1937年、1987年として捉えた。これにより坪井はマイワシの周期を各豊凶期の間の年数の平均から68年周期とした。また、杉本ら (2005) が鹿児島湾奥部の海底コアから9mの柱状堆積物を採取しマイワシの豊凶期を導き出し、その豊凶期は1580年 (不確定)、1651年、1716年、1836年、1936年、1988年の6回であった。

Fig. 1は、この二つのマイワシ豊凶年説を地球自転速度変動図に重ねたものである。これによると、1657年以降マイワシ豊凶期と地球自転速度の速い時期が一致する傾向が結果として得られた。また、Fig. 2は、LODの長期変動とマイワシ漁獲量の長期変動 (1657–1909年は両者の相関が高いことから求めたマイワシ漁獲量の長期変動および、1910–2018年は実際のマイワシ漁獲量で示した)、また別府湾の海底からコア・サンプルを採掘

しマイワシの堆積率 (SDR; sardine scale deposition rate) から求めたマイワシのバイオマス長期変動 (Kuwaie *et al.*, 2017), さらに古文書と鹿児島湾奥部のコア・サンプルから推定したマイワシの豊凶変動 (杉本ら, 2005) の四つの変動を示し, この傾向が相互にほぼ一致した。

3.2 地球自転速度変動とマイワシ豊漁期との相関

漁獲統計の数字が存在する1910年以降の豊漁期は3回あり, 第1期は1920年から1940年であり, 第二次世界大戦前のマイワシ豊漁期にあたっている。この21年間では R^2 が0.38 ($R=0.62$), $p<0.05$ の有意な相関を示した。第2期は1970年から1990年の21年間であり, この豊漁期の地球自転速度との決定係数は $R^2=0.71$ ($R=0.84$), $p<0.001$ であった。さらに, 第3期2010年から2019年の10年間は $R^2=0.80$ ($R=0.90$) の高い相関を示した (Fig. 3(a)-(c))。なお, 上記の様に豊漁期を3期に分離しない長期間の相関は, マイワシ漁獲量統計が

開始された1910年から1972年の63年間のデータでは, 決定係数 $R^2=0.41$ ($R=0.64$), $p<0.001$ の有意な相関が得られた (Fig. 3(d))。なお, 1973年以降のマイワシ漁獲量は, 2.5項でも述べたが漁船の装備において, 特に一艘まき網漁船においてはその移動性と漁船周辺部の半径2kmの魚群が全て探索できるスキャンングソナーを設置するなど努力量が質的に大きく飛躍し1972年以前とは異なるため, それ以前で漁獲統計開始以来の長期間の相関を求めた。以上のことにより, マイワシの豊漁期は地球自転速度の速い時期に相当していることを示す結果となった。

3.3 地球自転速度変動とマイワシ漁獲量変動が一致した他種要因との相関

LODとマイワシ漁獲量の変動が一致する原因を考察するために, 多くの環境要因との相互の相関を見る必要がある。その環境要因の相互の相関表として Table 2 の結果が得られた。

LODと関係するのは, 大気角運動量 (AAM) があり, また AAM は北太平洋の気圧差を示す北太平洋指数 (NPI) と有意な相関を示した。さらに, NPI は太平洋10年振動指数 (PDO) と相互に相関性が高く, この二つの要素 NPI・PDO は北太平洋中央域でのマイワシの餌になる基礎生産量 (NPP) と有意で高い相関があることが示された (Fig. 4)。また, PDO は表面水温を指標としていることから直接的にマイワシ漁獲量とも有意な関係を示している。

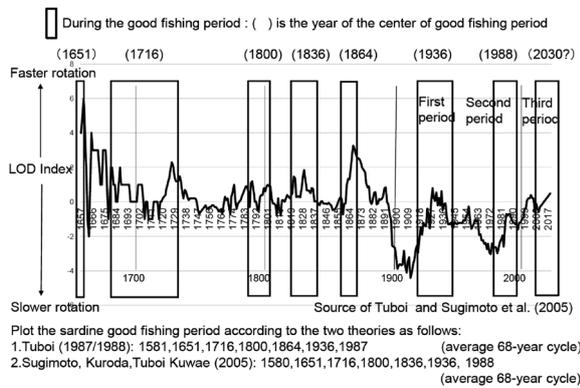


Fig. 1 Relationship between the rich period of Japanese sardine and the fluctuation of earth rotation rate from 1657 to 2018

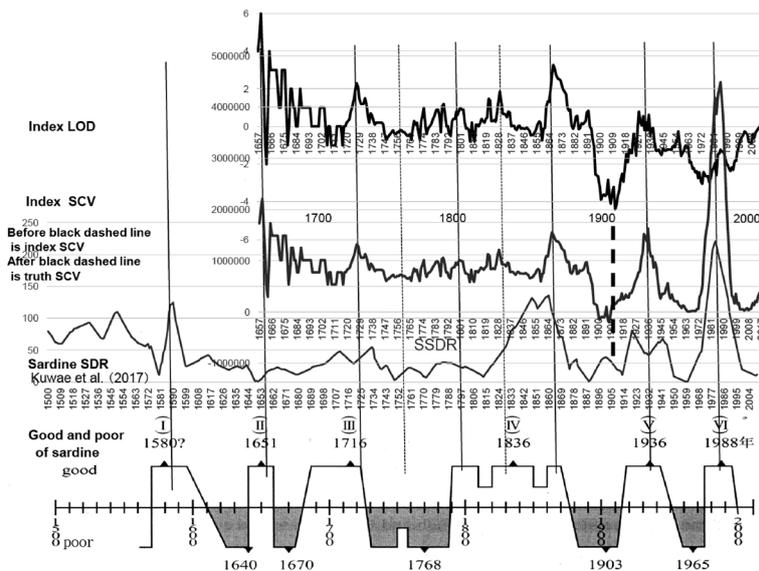


Fig. 2 Length of day (LOD; top) is not only corresponded with change of index of Japanese sardine catch volume (upper middle), estimated by index of LOD (1657-1909) and catch volume of sardine (1910-2018). LOD is but also detrended Japanese sardine scale deposition rate (SDR; 7-yr mean) from 1500 to 2010 (Kuwaie *et al.*, 2017; lower middle). Furthermore, LOD is but also corresponded with change of Japanese sardine catch volume, indicated good and poor periods (Sugimoto *et al.*, 2005) from 1560 to 2002 (bottom). Vertical solid line means the good year and dotted line means a little good year. And index SCV means that before black dashed line is index SCV and after black dashed line is truth SCV

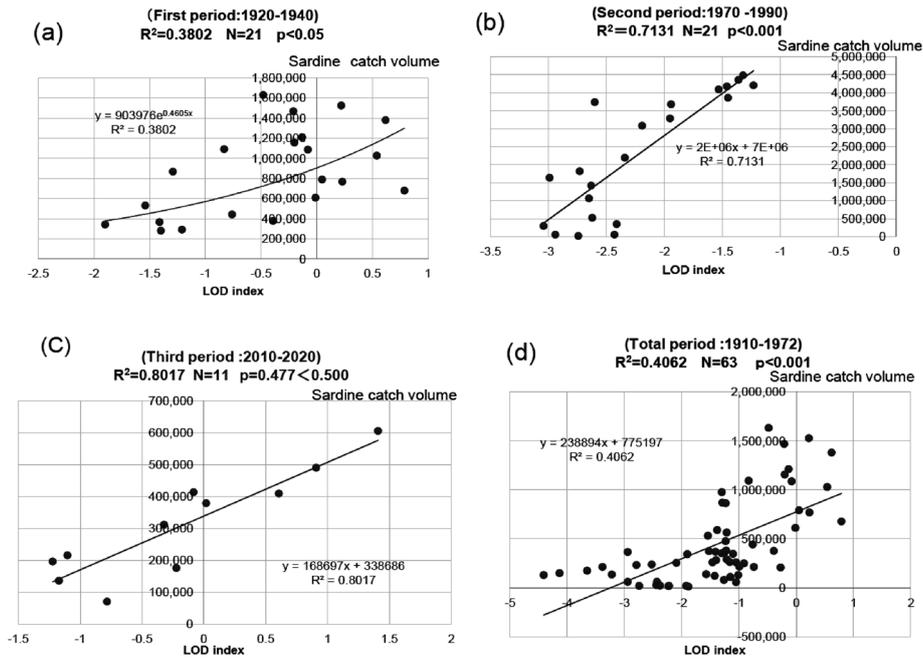


Fig. 3 Relationship between the period of good catch volume of sardine and the accelerated velocity of earth's rotation rate, separated into three period parts and total period from 1910 to 1972. These correlative coefficients are determined by these four cases. Each correlative coefficient are (a) first period $R^2=0.38$ ($R=0.62$) $p<0.005$, (b) second period $R^2=0.71$ ($R=0.84$) $p<0.001$, (c) third period $R^2=0.80$ ($R=0.90$) $p<0.001$, (d) total period $R^2=0.41$ ($R=0.64$) $p<0.001$. Vertical axis means sardine catch volume (SCV). Horizontal axis means LOD index calculated from LOD

Table 2 Relationships between SCV (Sardine catch volume), NPP (North Pacific primary production), AAM (Atmospheric angular momentum), NPI (North Pacific index), PDO (Pacific decadal oscillation) and LOD (Length of day), NPI, PDO. R of C. C. means relationship of correlation coefficient

	First period (SCV) (1920-1940)	Second period (SCV) (1970-1990)	Third period (SCV) (2010-2020)	Total period (SCV) (1910-1972)	NPP (1951-1972)	AAM (1951-1972)	NPI (1951-1972)	PDO (1951-1972)
LOD								
R of C.C.	0.617 *	0.844 *	0.895 *	0.637 *	0.556	0.609 *	0.319	0.382
p-value	p<0.05	p<0.001	p=0.477<0.500	p<0.001	p<0.20	p<0.002	p<0.500	p<0.200
NPI								
R of C.C.	0.180	0.2676	0.719 *	0.094	0.788 *	0.330 *	1 *	0.530 *
p-value	p<0.900	p<0.200	p<0.020	p<0.800	p<0.001	p<0.06		p<0.001
PDO								
R of C.C.	0.582 *	0.592 *	0.3	0.526 *	0.699 *	0.266	0.530 *	1 *
p-value	p<0.003	p<0.002	p<0.500	p<0.06	p<0.001	p<0.200	p<0.001	

*Mark means a significant correlation coefficient

4. 考察

4.1 マイワシ漁獲量変動の周期性および基礎生産量に関する考察

4.1.1 マイワシ漁獲量の長期変動の周期性

マイワシ漁獲量の周期性を求めるための漁獲統計数字があるのは、1910年以降からであり、それ以前の研究においては古文書から推測するしかない。具体例として房総海域の漁獲量の変動は、古文書を整理し、68年周期を見出している(坪井, 1987a, 1987, 1988)。さらに、古文書と鹿児島湾奥部の海底から沈殿物のコア・サンプルを採取し、450年の間に6回のマイワシ豊漁期がくり返されていることを発見している(杉本ら, 2005)。

しかし、この6回の豊漁期において、西岡(1953)、菊地(1976)、古田(1979)、坪井(1988)は、1800年から1864年の間の期間にあたる1844年から1857年の14年間で不漁年であることを指摘している。すなわち、

1800年以降1900年までの豊漁年代は、1836年を中心とする年代と1864年を中心とする年代の2回存在していたことになる。したがって、豊漁年は1581年、1651年、1716年、1836年、1864年、1936年、1988年を中心年とし全部で7回になり、この7回の豊漁年の周期は豊漁年の間隔の年数の平均から68年周期が認められ、坪井の68年周期説と一致した。また、この周期は房総の漁業者の間で言い伝えられてきた70年周期説(西岡, 1953; 菊地, 1976)に近い値となった。

さらに、海外事例としては、カルフォルニア沖サンタバーバラ海盆の無酸素海盆の鱗のコア・サンプルから、1700年間のマイワシのバイオマスの変動周期が60年であることが述べられている(Baumgartner *et al.*, 1992)。

すなわち、このマイワシ漁獲量の周期は60-68年となる。また、Kuwaie *et al.* (2017)は、別府湾の海底から2850年間のコア・サンプルを採掘しその周期を50年と

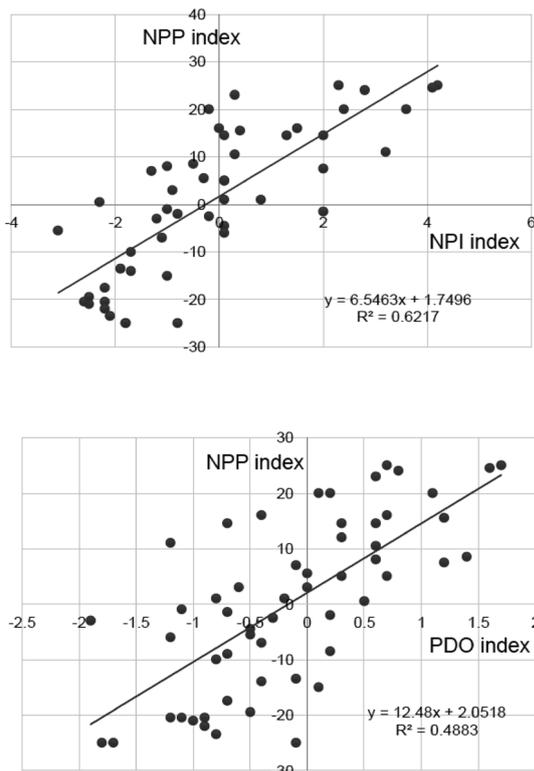


Fig. 4 Relationship between index of north pacific primary production (NPP; vertical axis; Noguchi *et al.*, 2018) and north pacific index (top) (NPI; horizontal axis; D'Arrigo, *et al.*, 2005, Yasuda *et al.*, 2006). Corelative coefficient is $R^2=0.62$ ($R=0.79$), $p<0.001$. Relationship between index of north pacific primary production (NPP; Vertical axis; Noguchi *et al.*, 2018) and index of polar decadal oscillation (bottom) (PDO; Horizontal axis; the Japan Meteorological agency, 2020, Yasuda *et al.*, 2006). Corelative coefficient is $R^2=0.49$ ($R=0.70$), $p<0.001$

指摘したが、周期解析においてはマイワシの堆積率と極東アジアの降雪量イベントの気候変動との共通の周期は60年、またマイワシ堆積率とPDOとは65年の共通の周期を算出している。このことは、上記マイワシの漁獲量の周期60-68年を裏付けるものとして意義深いと考えられる。

4.1.2 1600年以降の基礎生産量指数

マイワシ漁獲量の長期変動を支えるものとして基礎生産量があり、地球全体の基礎生産量を過去350年の長期に亘り観測した事例はない。ただ、Venrick, *et al.* (1987)においては、北太平洋の一部の海域を数十年間実測した事例が報告されている。本論文では、北太平洋中央海域を全地球の基礎生産量の変動を示す指標海域とした。その理由としては、この中央海域が半島や島が少ないため基礎生産量の増減へのバイアスが小さいこと、また気候変動にも影響する海の熱を運ぶコンベアベルトである熱塩循環の深層水が表層に浮上する世界で数少ない海域 (Trenberth, 1990) にあたることが挙げられる。またこの循環は、一巡するのに1000-2000年の長期に亘るが、本論文における時間スケールが過去350年であることから十分に考慮に入れる必要がある。以上が理由として挙げ

られる。

この海域での基礎生産量に強い影響力を持つのは、アリューシャン低気圧の存在であり、その強弱の長期変動を示すのは気圧と水温の偏差を考慮したNPI指数とPDO指数がある。また、基礎生産指数 (North pacific Primary Production, NPP) とそれぞれの指数の相関を Fig. 4 に示した。両者が意味するものは、NPIとPDOの指数が高い時代はアリューシャン低気圧 (AL) が強くなることであり、NPIの海域および時期に関しても30°-65°N, 160°E-140°Wの範囲で、観測時期も12月-5月の海面気圧偏差も同じである。このことから、野口ら (2018) による基礎生産量指数のシミュレーションの海域とは、時期ともに一致している。さらに、1976年を境に1988年までNPIが高くALが強まり、基礎生産量の指標でもあるクロロフィル (植物プランクトン) が増加し、魚類資源が増加したことはすでに述べられている (Trenberth K. E *et al.*, 1994)。

幸いなことに、NPI指数は過去100年の観測値があり、それ以前は樹木の年輪から1600年以降のその指数が復元されている (D'Arrigo *et al.*, 2005)。さらに、このNPIとNPPは高い相関を示すことは3.3項の結果から示され、今まで不可能であった1600年以降の基礎生産量指数 (NPP) の変動傾向が推定値として抽出でき、この変動が基礎生産量の長期変動傾向を示すと考えられ指標として用いることが可能となった。

Fig. 5およびFig. 6は、古文書およびコアの採掘から得られた1600年以降のマイワシ豊凶の長期変動と推定した基礎生産量の長期変動とを対応したものである。これらの図からマイワシの豊凶とこの推定した基礎生産量指数の変動傾向が一致しているように見受けられ、1600年以降のマイワシの豊凶変動傾向を裏付ける可能性も出てきたものと考察される。

4.1.3 基礎生産量指数とマイワシ豊凶の長期変動

前述のように北太平洋中央海域での1600年以降の推定基礎生産量変動とマイワシの豊凶の変動 (坪井, 1987a, 1987b, 1988; 杉本ら, 2005) を示し、さらにこの豊凶の変動を裏付けるものとして図の最下段に、別府湾の海底からコア・サンプルを採掘しマイワシの堆積率の長期変動のグラフ (Kuwae *et al.*, 2017) を最下段に示している。Fig. 5とFig. 6の両方の図は、マイワシの豊漁期が推定基礎生産量の高い時期に一致する傾向を示している。

特に、杉本ら説は、Fig. 6において1800年から1880年の長期間に亘って豊漁期を示しており、この同期間であるFig. 5の坪井説とは大きく異なっている。この差異を両図の推定基礎生産量の図から比較すると、餌となる基礎生産量も約80年間の長期に亘って高かったと推定され、Fig. 6の杉本ら説を裏付ける可能性が高いものとして注目される。なお、最下段のコア・サンプルのSDRの図においても、この時期に長期に豊漁があったことを示している。

ここで、1600年以降の推定基礎生産量のグラフの作

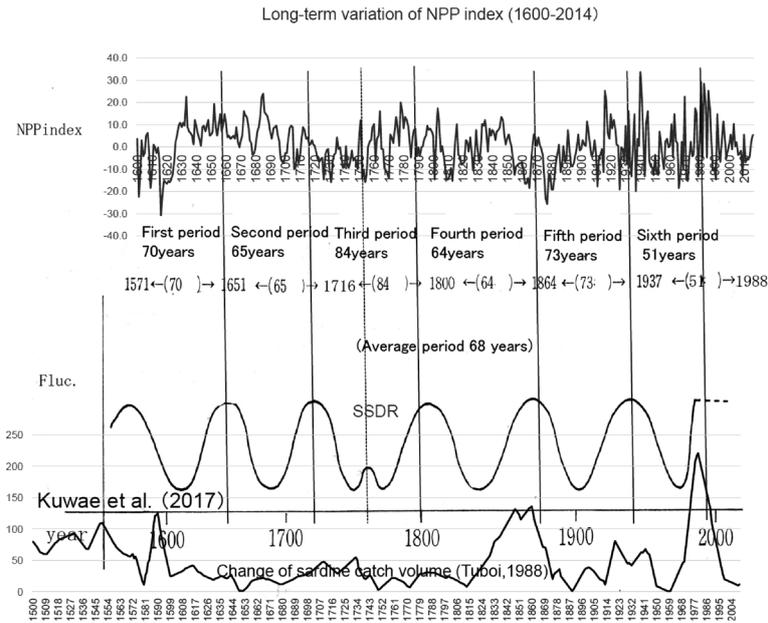


Fig. 5 North pacific primary production (NPP; top) correspond with change of Japanese sardine catch volume (Tuboi, 1988; middle) from 1600 to 2002. Vertical solid line means most good year and dotted line means a little rich year. Detrended Japanese sardine scale deposition rate (SDR; 7-yr mean) from 1500 to 2010 (Kuwaie *et al.*, 2017; bottom)

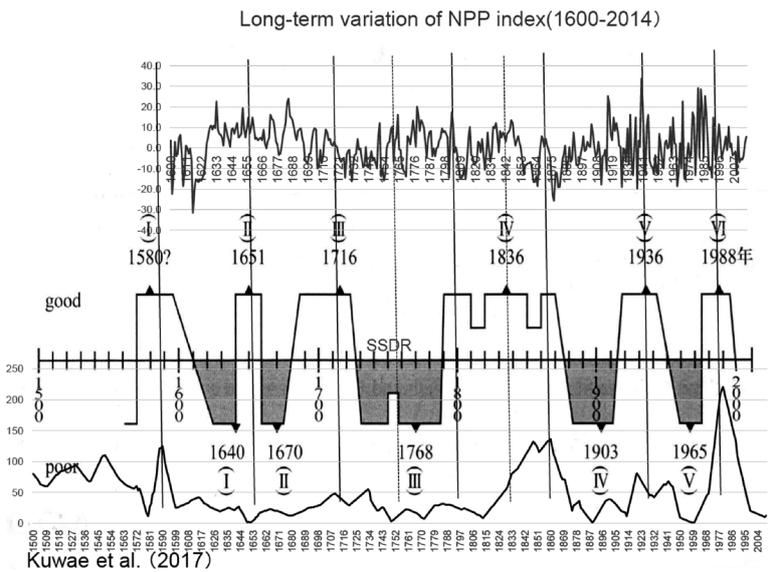


Fig. 6 North pacific primary production (NPP; top) corresponded with change of Japanese sardine catch volume (Sugimoto *et al.*, 2005) from 1560 to 2002 (middle). Vertical solid line means the good year and dotted line means a little good year. Detrended Japanese sardine scale deposition rate (SDR; 7-yr mean) from 1500 to 2010 (Kuwaie *et al.*, 2017; bottom)

成は、数百年前の時代に基礎生産の実測データがなく、同化によるシミュレーションの精度確認が不可能であり、本論文では1600年以降のデータが存在する北太平洋指数NPI (D'Arrigo, *et al.*, 2005; 安田ら, 2006) のデータと基礎生産量指数(野口ら, 2018)により、NPP 指数の傾向を示す推定値として抽出した。

4.2 地球流体核、地磁気、地球自転速度変動の周期性とマイワシ豊凶の長期変動との考察

4.2.1 地球流体核、地磁気、地球自転速度変動の周期性

地球惑星科学において地球自転速度と地磁気は、数十年スケールの変動に関して密接な関係があるとされる

(Chao, 2003; Ponsar *et al.*, 2003). これは、地磁気は地球流体核における対流によるダイナモ作用(電気伝導性を持った物質が磁場中を運動することによる発電作用)の連鎖によって生成されるため、流体核内部の運動の時間変化が地磁気変動の原因となることと、流体核内部の流れの変動が自転軸周りの角運動量変化を伴い、これがマントルの角運動量変化量と相殺される(核-マントル系で角運動量が保存される)ことにより、地球自転速度の変動に影響を及ぼすためである。

例えば、地磁気の空間分布と数十年スケールの時間的な変動データに電磁流体力学的な考察を行うことによ

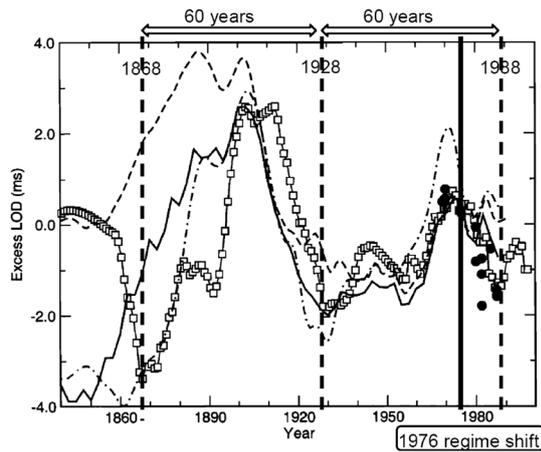


Fig. 7 Change of LOD (Length of day) estimated from surface current of liquid outer core. Comparison of LOD observations (squares) with predictions from the tangential geostrophic flow obtained when using the inversion parameters of Pais and Hulot (2000) (dashed line). Jackson, Bloxham and Gubbins (1993)(solid line). Holme and Whaler (2001) (dot dashed line). Jault *et al.* (1988)(circles). The figure is modified after Ponsar *et al.* (2003)

り、流体核表面付近の流体の水平運動を推定することが可能である。また、数十年スケールの流体核内部のダイナミクスには地球自転にともなう見かけの力であるコリオリ力の影響が支配的であることが予想され、これにより流体核内部の流れの変化は、自転軸方向にほぼ様な流れの変動によって近似できると考えられている(プラウドマン・テイラーの定理)。この近似により、流体核表面の水平流から核内部の流れの変動が推定でき、さらに流体核が持つ角運動量の変動を推定することができる。数十年という時間スケールでは、地球外部から顕著な外力がマントルに働かないことを考えると、核-マントルの系においては角運動量が保存される。例えば、核内部の角運動量が小さく(遅く)なれば、角運動量の保存則から逆にマントルの回転速度は大きく(速く)なる。したがって、地磁気の観測データから流体核内部の角運動量を推定し、この推定値からマントルの回転速度(地球自転速度)の変化量を推定することができる。Fig. 7は、地球回転観測から求められたLODと地磁気変動から推定されたLODを示している。1900年以前は観測点が少なく不正確さが残るものの、両者がよく一致している(Ponsar *et al.*, 2003) ことがわかる。

地磁気や自転速度は、様々な時間スケールで変化している。地球ダイナモ理論によると、磁場強度の時間平均値と自転速度には正の相関があることが示唆されている(Christensen, 2010)。この関係は、核内部における対流の時間スケールより十分長い、数千年以上の時間スケールにおいて成り立つと考えられる。Fig. 8の左図は地磁気の強さが近年連続的に弱くなる傾向を示しているが、Fig. 8の右図は、この磁場強度変動から線形トレンドを差し引いた量を、磁場強度の変動を見やすくするために、スケールを拡大して示した。この図から、地球自転速度が速くなっている時期は1868年、1928年、1988

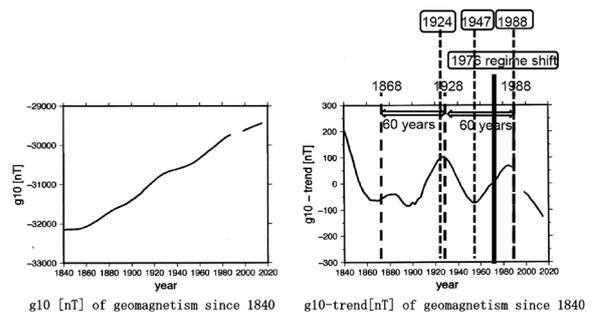


Fig. 8 Variation of axial dipole component of the geomagnetic main field from 1840 to 2015. Bold dotted lines of right figure indicate 60-year period between 1968, 1928 and 1988. Small dotted lines of right figure mean regime shift years (1924, 1947, 1988) and a bold solid line means the same regime shift (1976)

年に認められ (Fig. 6の点線の縦棒)、地球自転速度に60年の周期変動があることがわかる。また、若生(1979)はこの周期を約65年と見積り発表している。一方で、地磁気強度も約60年周期で変化していることが知られている(Currie, 1973; デイビッド, 2016)。これはFig. 8の右図に示された1840年から2015年の磁場強度変化から線形トレンドを差し引いた図でも確認できる。

約60年周期の磁場強度と自転速度変化の関係については長らく謎であったが、核表面付近の密度安定成層(および、地球の自転と磁場)の影響を強く受ける磁気流体波の伝播により、両者の関係が説明できると考えられている(Buffett, 2014)。

4.2.2 地球自転速度の大気・海洋への影響に関する考察

地球全体で変動する環境要因として地球自転速度の変動を挙げたことに関しては、自転速度変動を起こす原因を究明することが将来のマイワシ漁獲量の長周期変動を予測するために重要であると考えられるからである。

その地球自転速度変動を起こす要因として、地球上の流体であり最も地球の外側にある大気の変動があげられる。大気は移動速度が地球上の流体で最も速く、季節変動から2年程度の短期変動において地球自転速度と相互に影響しあっている(Hide & Dickey, 1991; Chao, 2003)。これは、大気もつ自転軸周りの角運動量(AAM)の変動から見積もったLOD変動から直接確認することが可能であるが、5年より長い時間スケールを持つLOD変動の大部分は、AAM変動では説明ができないことが明らかである(内藤・菊地, 1989; Holme & de Viron, 2005)。4.2.1項で示したように、直接観測が不可能な地球深部の流体核の変動は観測可能な地磁気のデータから推定でき、流体核内部の角運動量変化から計算されたLOD変動は、観測により得られた数十年スケールのLOD変動の概略を説明することができる(Ponsar *et al.*, 2003)。したがって、流体核の変動と観測されたLODの変動は、数十年スケールの時間スケールにおいて関連していることが確かめられている。ただし、数十年スケール変動においても、核内部の流れ以外の要因がLODと関連している可能性は否定できない。

本論文ではここまで、海洋循環による角運動量 (Oceanic angular momentum, OAM) の変化とその LOD への影響については考えてこなかった。これは、自転軸周りの海洋の慣性モーメントは大気のそれの約300倍程度である一方、流速の変動量が小さいため、LOD変動の主要因であるとは考えられてこなかったことによる。しかし、40年程度の長期変動においては、Fig. 9が示すとおり AAM 変動と LOD 変動では大きく乖離し、AAM が LOD に影響していることへの説明が付かない。LOD の長期変動の要因としては、OAM の変動である可能性が高いことが示唆されている (Holme & de Viron, 2005)。数十年スケールの LOD 変動においても、(量的な比較は困難であるが)、コリオリ力として LOD が海洋変動に関係することから OAM 変動に影響している可能性は大きい。また、海洋循環による角運動量 (OAM) の海洋が、大気を持つ自転軸周りの角運動量 (AAM) の大気に影響していることは、近年の研究で発見されている (見延, 2014)。このように間接的に LOD が AAM に影響していると推察される。

以上のように、約60年周期の変動をはじめとする地球流体核変動は、地球自転速度変動として地殻とマンツルの角運動量に影響し、また大気や海洋の角運動量の変動とも関連している可能性をも示唆していると考えられる。このことにより、他の魚種にはみられない60年という長い周期のマイワシ漁獲量変動との関連を研究することは、重要な意味を持っていると考えられる (Table 3)。具体例として、前述したが極東アジアの降雪

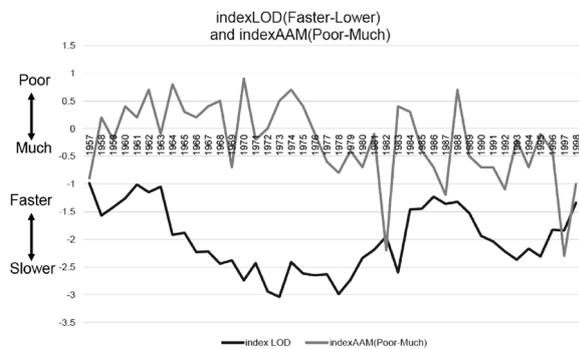


Fig. 9 Variation in length of day (Δ LOD: black line) in milliseconds from 1957 to 1998 (down). Variation AAM is indicated dark line (upper). It means that Δ LOD and AAM are disagree with each other from year to year

量の気候変動や北部太平洋中央海域での PDO (表面水温変動) とマイワシバイオマスの長期変動を示すマイワシの堆積率 (SDR) が60-65年の共通周期が検出されており (Kuwae *et al.*, 2017), また4.1.2項でも述べたが NPI や PDO とマイワシの餌となる基礎生産量とは Fig. 4 に示したとおり有意な相関があり、その長期変動の周期性がレジーム・シフトとして示されている。

4.3 地球自転速度と北太平洋中央海域のレジーム・シフト

4.3.1 地球自転速度と PDO, 基礎生産量の1976年のレジーム・シフト

数年から10数年程度スケールの変動における地球自転速度変動 (LOD) と大気や海流との関係は、すでに多くの論文があり (Chao, 1989; Chao *et al.*, 2000; 古屋, 2018), LOD と ENSO (El Nino-Southern Oscillation) が相互に影響を及ぼし合っていることもすでに述べられている (Chao, 1993)。

野口ら (2018) は、上記モデル海域である北太平洋中央海域においてマイワシが餌として直接摂取可能 (中井, 1938) な基礎生産量の変動を、1950年以降シミュレーションで算出している。

Fig. 10 に基礎生産量と地球自転速度を比較した図を示すが、1950年代、1980年代、1990年代後半は基礎生産量が高くなっていると同時に地球自転速度が速いか、または加速されている時期と傾向的にはよく一致し、相関でも3年の移動平均で $R=0.56$ ($R^2=0.31$) を確認している。マイワシ漁獲量においても、1950年を中心に漁獲量が伸びており1980年代でも最高の漁獲量を示す豊漁期と重なっている。しかし、1990年代後半は1999年に漁獲量が若干は伸びているが、地球自転速度が加速途中でもあり完全に速くなった時期の2010年代に入って、マイワシ漁獲量も安定した豊漁時代 (2020年の総漁獲量60.5万トン) を迎えている (<http://www.osakana-hiroba.jafic.jp/>, 2021年2月1日)。

Fig. 10 において1976年は、地球自転速度変動、PDO 指数、基礎生産量指数においてレジーム・シフト年であることが確認され、また Fig. 7 および Fig. 8 の右図によると、1976年のレジーム・シフトは、地磁気は弱くなる方向 (下向き方向) へ転換する時期にあたり、これは地球自転速度が速くなる年代にシフトする時期に相当していると考察される。

Table 3 Year period about catch volume of sardine and earth science factors

Factor	Period	Reference
Earth liquid outer core	65-year period	Chao (2003) .Wakao(1979)
	60-year period	Dybit(2016)
Earth magnetism	60-year period	Dybit(2016)
	60-year period	Magnetic Ovservatory (2020)
Velocity of earth rotation	65-year period	Wakao(1979)
(Velocity of Mantle rotation)	60-year period	Dybit(2016), Magnetic Ovservatory (2020)
Catch volume of sardine	68-year period	Tuboi(1987, 1988)
	68-year period	Sugimoto et. al. (2005)
	60-year period	Baumgartner et.al.(1992)
Sardine SDR and snow (Climate of East Asia)	60-year period	Kuwae et al. (2017)
Sardine SDR and PDO (SST of Central North Pacific)	65-year period	Kuwae et al. (2017)

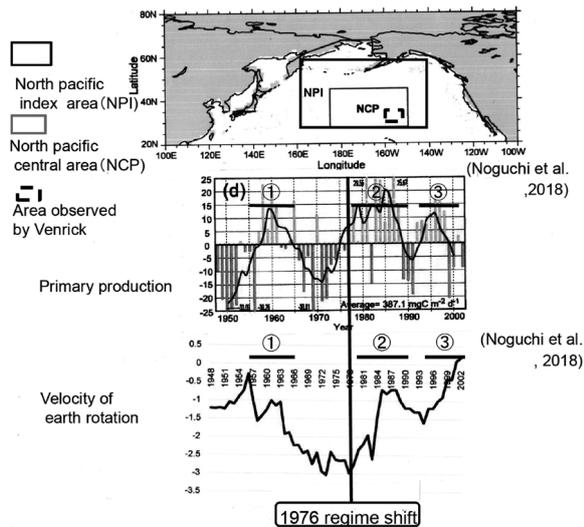


Fig. 10 Comparison primary production in north pacific central area with velocity of earth rotation. Good primary production periods (① , ② , ③ ; middle) are corresponded with the periods of accelerated earth rotation rate (① , ② , ③ ; bottom). Center of a bold solid line means regime shift year 1976

4.3.2 基礎生産量指数の長期変動からのレジーム・シフトの考察

Fig. 11 は、基礎生産量指数 (NPP) の変動を10年の移動平均であらわした図であり、この図に示されるように基礎生産量指数の変動は指数の低い年代と高い年代が交互に出現し、その境目の年ではレジーム・シフトが発生している。

一方、4.1.2 項で考察したとおり基礎生産量と有意な相関を示す北太平洋指数 NPI によってもレジーム・シフトは指摘されており (D'Arrigo, *et al.*, 2005), 両者を考慮したレジーム・シフト年を同図に鉛直の波線で示した。これによると、1600 年以降のレジーム・シフトは、1627 年、1695 年、1762 年、1853 年、1922 年、1947 年、1976 年の 7 回であり、その間隔を平均すると 58 年となりほぼ 60 年に近い周期となった。

これらのレジーム・シフトの中で Fig. 8 の右図で示されている 1924 年および 1947 年の両レジーム・シフトは、基礎生産量指数 (NPP) と北太平洋指数 (NPI) の両方に共通したレジーム・シフトであり、1988 年のレジーム・シフト (Tachibana *et al.*, 1996; Yasunaka *et al.*, 2002) も、Fig. 8 の右図で示されており、これら 1924 年、1947 年、1988 年のレジーム・シフトは磁場強度の変曲点に当たっている (Fig. 8 の右図)。

これらのレジーム・シフトが、大気の大気 NPI や海洋の PDO と一致していることを考慮すると、核-マントル-大気・海洋を 1 つの系として考え、相互作用により流体核の変動が海洋現象または大気現象の数十年スケールの長期変動の主要因となっている可能性があると考えされる (Holme *et al.*, 2005)。

Fluctuation NPP index smoothed with the 10-years moving average (1600-2014)

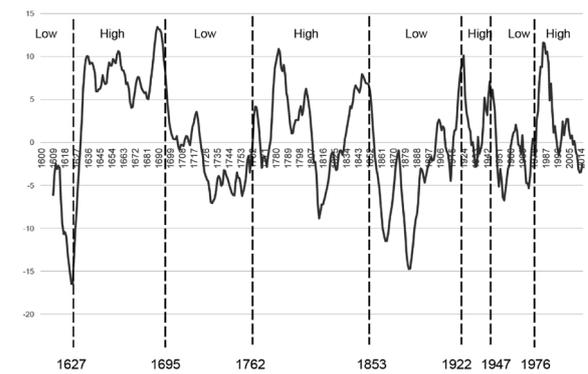


Fig. 11 Regime shift (dotted vertical. line) driven from North pacific primary production (NPP; 10-yr mean) and North pacific index (NPI; D'Arrigo *et al.*, 2005) from 1600 to 2002. Regime shift years are 1627, 1695, 1762, 1853, 1922, 1947, 1976. Low and High (upper) mean low and high degrees of index NPP

4.4 地球自転速度変動を考慮したマイワシ漁獲量変動への考察

4.4.1 マイワシ漁獲量変動のレジーム・シフトと地球流体核

マイワシ豊漁年代の海況と不漁年代の海況とを比較した結果、豊漁年代は不漁年代に比べ北太平洋中央海域において湧昇速度は速く、混合水深も厚く、水温は低いことが指摘されている (野口ら, 2018)。このことは、マイワシ豊漁年代の海況において下層に分布する栄養塩 (窒素、リン、ケイ素) が表層へ湧昇し活発な光合成が行なわれ、基礎生産量が増加した可能性が高いことを意味している。この海域の上下混合の盛んな年代は、アリューシャン低気圧 (AL) が発達し、風により混合層が厚くなり、表面水温は低くなる傾向を示す (気象庁, 2020)。このアリューシャン低気圧の発達の長期傾向を示す指数として、前述の北太平洋指数 (NPI) 以外に PDO 指数 (太平洋 10 年規模振動指数) がある。

これらの指数がプラスになると AL が発達し、また PDO 指数は北大西洋振動指数 (North Atlantic Oscillation Index, NAOI) や ENSO と共鳴しながら、地球システムを通して地球規模の基礎生産量の変動に影響を及ぼしている可能性がある (Kawasaki, 1983)。マイワシ漁獲量の長期的な周期性を持った資源変動を引き起こす要因は、統計的な魚種交替説 (川崎, 1993; 渡部, 1993) やレジーム・シフト論 (Kawasaki, 2013) が述べられてきた。一方、この長期変動を左右する主な要因には、餌生物の増減が挙げられ、その根本になっている餌料は海洋生物で最も多い植物プランクトンがある。植物プランクトン量の増減の長期変動は、マイワシ漁獲量の長期変動を捉える上でも重要である。その理由としては、多くの表層性回遊魚は主として動物性プランクトンを摂餌するのに対して、マイワシ成魚のみは鰓耙が長くきめ細かいので植物プランクトンを直接摂取できる (中井, 1938) ことによる。このことがマイワシの長周期性や漁獲量が最大 449 万トン

と他の魚種の追従を許さない高い漁獲量（次がマサバで最高時の漁獲160万トン）の要因になっている。

マイワシ漁獲量の数十年スケールの変動と同じスケールで変動する環境要因として、地球自転速度変動を指摘してきた。この自転速度変動は、4.2.1項の考察でも論述したが地球深層の流体核の変動がマンツルの最下部で力学的にマンツル層に伝搬し、自転速度（マンツル層の回転速度）の変動を起こしている（Chao, 2003; Ponsar *et al.*, 2003; Christensen, 2010）ことによる。Fig. 8の右図で示したとおり1924年、1947年、1976年、1988年のレジーム・シフトは、地球磁場変動の変曲点（地球自転速度変動の変曲点）にあっている。例えば、1976年のレジーム・シフトにおいては、Fig. 7で示したとおり地球自転速度が遅くなる時期から速くなる転換期にあたり、このレジーム・シフト年は、4.3.1項で考察したとおりALが強まり、海洋変動として湧昇流が速くなる傾向にシフトした年（野口ら, 2018; 気象庁, 2020）とみられ、基礎生産量が増加する傾向に入りマイワシ漁獲量が増加する年代に移行したと考察される。

これらのことは、Table 2の結果で示したとおり、地球自転速度LODがAAMとNPIと関係し、さらにPDO（水温の指標）とNPP（餌の指標）の変動の一因となり、この流れからLODがマイワシの漁獲量と有意な相関を示したと考察される。したがって、LOD変動がマイワシ漁獲量変動と相関が高いのは、水温（PDO）と餌料（NPP）による関係と考えられる。

さらに、流体核の変動から派生した地磁気強度の変曲点は、レジーム・シフトの時期にあたり、この流体核の変動がFig. 11に示されたとおり数百年のマイワシ変動と関係する植物プランクトンNPPのレジーム・シフトの兆候になっている可能性を示唆している。

4.4.2 地球自転速度のマイワシ漁獲量変動影響への可能性

本論文の研究目的は、地球自転速度がマイワシ漁獲量の数十年スケールの長期変動が一致することを実証することにある。地球自転速度の変動が流体核の変動から派生していることへの考察は、4.3項ですでに論述した。この項では、地球自転速度は、マイワシの餌となっている基礎生産量にどのように影響しているのかを考え、さらにはLODが大気角運動量（AAM）や海流が持つ角運動量（OAM）、北太平洋中央海域のALに影響を与えるNPIやPDOにどのように関係しているのかを考察する。

地球自転速度LODの変動と地球規模の大気の角運動量AAMの変動が同期することは、多くの論文（Rosen *et al.*, 1983; 内藤, 1988; 尾崎ら1994; 藤本ら, 2013）がある。これらによれば大気の角運動量変動（AAM）は、季節変動や5年程度以下の変動において地球自転速度（LOD）に影響していることが確認されている。一方、Fig. 12には線形トレンドを差し引いた地球自転速度指数（LOD）を表現し、自転速度の速い方を上向きに示し、最上段から順にLOD・AAM・NPI・NPP指数のグラフを配置した。この図でわかるように、LODの速度が速

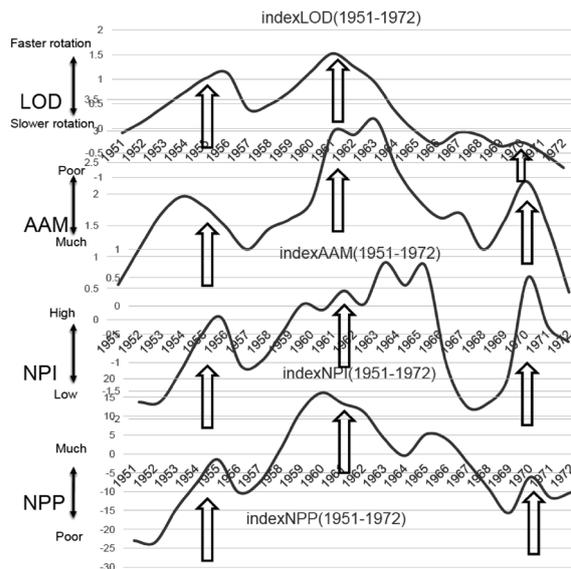


Fig. 12 Relationship between fluctuation of index length of day (smoothed solid line LOD ; top), variation of atmospheric angular momentum (smoothed AAM; 5-yr mean and smoothed solid line; second top), var. of north Pacific index (NPI; 2-yr mean and smoothed solid line; above the bottom), and var. of north Pacific primary production (NPP; 3-yr mean and smoothed solid line; bottom) from 1951 to 1972. There are arrows marks in the same three periods of tongue figures. Relationship between index of LOD and AAM indicates correlative coefficient as $R^2=0.37$ ($R=0.61$), $p<0.002$

くなる凸の3期間を実線の矢印で示したところ、これに呼応するようにAAM・NPI・NPP指数の3つの凸部分もほぼ同時期にみられ、位相において一致していた。しかし、AAMの長期変動ではFig. 9に示されてたようにLODの長期変動から大きく乖離しており、さらに5年以上の長い時間スケールのLOD変動は、AAM変動では説明ができないことも明らかになっている（内藤・菊地, 1989; Holme & de Viron, 2005）。このことから、Fig. 12の実線矢印で示された22年の長期変動においては、LODがAAMへ影響している可能性を示唆していると推察される。このことは、LODとAAMには $R^2=0.37$ ($R=0.61$), $p<0.002$ で、有意な相関があることも確認できた。また、この図からLODの長期変動は、AAM・NPIを通して基礎生産量NPPの高い値を励起していると考えられ、地球自転速度（LOD）の変動はマイワシ漁獲量の長期変動と関係していると考察される。さらに、地球自転速度が大気・海洋との間に働くトルクとしてAAMやOAMにも影響している可能性は、コリオリ力として台風や高低気圧の風向や黒潮・メキシコ湾流の西岸強化流（傾度流）に影響し、さらにAAMは気圧項と風速項からなり、その変動が帯状風（風速項）の相対角運動量に依存（90%）している（内藤, 1988）ことなどからも、否定できないと考えられる。しかしながら、原理的にLODとAAMのどちらが励起しているかは、今後に向けて多くの研究課題として残された。

以上のことから、これらの現象の根源にはFig. 13に

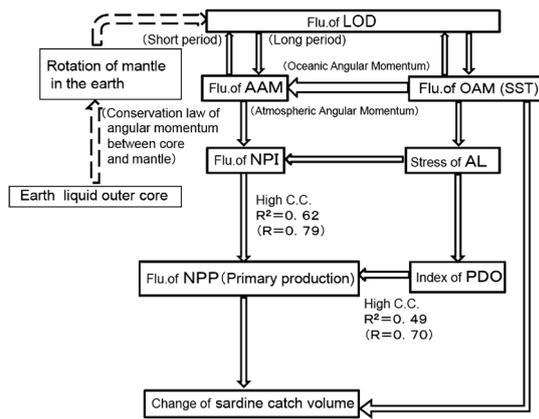


Fig. 13 Translate system from earth outer liquid core to change of sardine catch volume all over the world through the earth rotation rate (the root of changing of sardine catch volume may be earth outer liquid core). Flu. means fluctuation. C. C. means corelative coefficient

示されているとおり流体核の変動にある可能性があり、地磁気、レジーム・シフト、地球自転速度の変動においても、この流体核が大きな要因として考察される。この流体核内の流れが地球自転速度変動の60–65年周期を起し、その影響としてマイワシの漁獲量変動が60–68年周期を派生させた可能性もあると結論づけられる。若生(1979)は「地球回転(自転)状態の様子を調査することで分かることは、地球の生命活動の大規模変動を認知することである」と述べ、地球自転速度変動と生物の生命活動との関連を論述している。これは、まさしく科学の複合領域を意味するものであり、これからは水産資源学・海洋学・地球惑星科学の三つの科学領域を総合的に捉える研究が重要になると考えられる。

4.4.3 今後の課題

最後に今後の課題としては、①地球自転速度変動の長期変動と動植物プランクトンを通してマイワシ以外の他の魚種に関する研究、また②本研究は主にシミュレーションデータが主体の研究であり将来にむけて観測による裏付けも必要となる、一方③地球自転速度 LOD が長期的に大気角運動量 AAM を左右し、また海流の角運動量とも関連していることを述べてきたが、本論文に示した解釈がより整合性があるためこれを採用した。ただし、AAM や OAM が短期的に LOD の変動に影響している考え方もあり、長期変動とどのように関連するのかを、今後さらに新しい観測データを考慮し検討を続けることが望ましい。

謝辞

本論文をまとめるに当たって地球惑星科学に関して親切にご指導いただいた東京大学大学院理学部名誉教授浦辺徹郎博士、同大学地震研究所教授田中愛幸博士、水産資源分野では東京大学大学院農学生命科学研究科教授高須賀明典博士、愛媛大学沿岸環境科学研究センター准教授加三千宣博士、国立研究開発法人水産研究・教育機構中央水産研究所グループ長瀬藤聡博士に深甚の謝意を申

上げます。

また、2019年度水産海洋学会研究発表大会において貴重なご助言や励ましの言葉を頂いた東京大学名誉教授杉本隆成博士、横浜商科大学教授小林雅人博士、に御礼申し上げます。本論文に貴重な資料とご助言を頂きました国立研究開発法人海洋研究開発機構グループリーダー代理野口真希博士に御礼申し上げます。

参考文献

青木一郎, 小松輝久, 1992. ニューラルネットによるマイワシ未成魚漁獲量の予測. 水産海洋研究, 56, 113-120.

Baumgartner, T. R., Andy, S. & B. Vicenteferreira, 1992. Reconstruction of the history of Pacific sardine and northern anchovy populations over the past two millennia from sediments of the Santa Barbara Basin, California. CCOFI Rep., 33, 24-40.

Braginsky, S. I., 1972. Analytic description of the geomagnetic field of past epochs and determination of the spectrum of waves in the core of the Earth, II. Geomagn. Aeron., 14, 947-957.

Buffett, B., 2014. Geomagnetic fluctuations reveal stable stratification at the top of the Earth's core. Nature, 507(7493), 484-487.

Chao, B. F., 1989. length-of-Day Variation Caused by El Nino-Southern Oscillation and Quasi-Biennial Oscillation. Science, 243(4893), 923-925.

Chao, B. F. 1993. ENSO と QBO にまつわる LOD (1日の長さ)の経年変動. 「月刊地球」地球回転, 16(1), 44-47.

Chao, B. F., Dehant, V. M., Gross, R. S., Ray, R. D., Salstein, D. A., Walkins, M. M. & C. R. Wilson, 2000. Space geodesy monitors mass transports in global geophysical fluids. Eos T. AGU, 81(22), 247-250.

Chao, B. F., 2003. Geodesy is not just for static measurements anymore. Eos (Wash. D.C.), 84(16), 145-156.

Chavez, F. P., Ryan, J., Luch-Cota, S. E. & C. M. Niquen, 2003. From anchovies to sardines and back: Multidecadal change in the Pacific Ocean. Science, 299(5604), 217-221.

地磁気観測所, 2020. 気象庁ホームページ. <http://www.kakio-ka-jma.go.jp/>

Christensen, U. R., 2010. Dynamo scaling laws and applications to the planets. Space Sci. Rev., 152(1-4), 565-590.

Currie, R. G., 1973a. Geomagnetic line spectra - 2 to 70 years. Astrophys. Space Sci., 21(2), 425-438.

Currie, R. G., 1973b. The 60year spectral line in length of day fluctuation. S. Afr. J. Sci., 69, 180-182.

Cushing, D. H., 1975. Marine Ecology and Fisheries. Cambridge University Press, Cambridge.

D'Arrigo, R., Wilson, R., Deser, C., Wiles G., Cook, E., Villalba, R., Tudhope, A., Cola J., & Linsley B., 2005. Tropical-North Pacific Climate Linkages over the Past Four Centuries. Am. Meteorol. Soc., 5253-5265.

デイビット・ホワイトハウス, 2016. 地球の核についての論争. 「地底—地球深部探求の歴史—」, 19, 東京, pp. 151-191.

藤本博己, 三浦 哲, 今村文彦, 2013. 地球回転. 「現代地球科学入門シリーズ8 測地・津波」, 共立出版株式会社, 東京, pp. 80-87.

古田悦造, 1979. 九十九里浜中央部における豊凶漁期に伴う

- 人口動態. 新地理, 27(2), 13-25.
- 古屋正人, 2018. 地球の回転. 「地球科学事典」, 朝倉書店, 東京, pp. 122-123.
- 漁業情報サービスセンター, 2021. つながる情報, おさかなひろば. <http://www.osakana-hiroba.jafic.jp/>(令和3年(2021)2月1日最終アクセス).
- Hide, R. & J. O. Dickey, 1991. Earth's variable rotation. *Science*, 253(5020), 629-637.
- 平本紀久雄, 1996. イワシの自然誌「海の米」の生存戦略. 中公新書1310, 中央公論社, 東京, pp. 154-155.
- Holme, R. & O. de Viron, 2005. Geomagnetic jerks and a high-resolution length-of-day profile for core studies. *Geophys. J. Int.*, 160(2), 435-439.
- 川崎 健, 1993. マイワシを主導種とする浮魚群衆の構造的変化—魚種交替—. 「月刊海洋」, 25, pp. 398-404.
- Kawasaki, T., 1983. Why do some pelagic fishes have wide fluctuations in their numbers? Biological basis of fluctuation from the viewpoint of evolutionary ecology. *FAO Fish. Rep.*, 219, 1065-1080.
- Kawasaki, T., 2013. Regime Shift-Fish and Climate Change. Tohoku University Press, Sendai, pp. 55-72.
- 菊地利夫, 1976. 近世九十九里浜の不漁に対する領主と漁民の行動. 歴史地理学紀要, 18, 83-100.
- 気象庁, 2020. 太平洋十年規模振動 (PDO) の海面水温変動. ホームページ, jma.go.jp. (令和2年(2020)2月27日最終アクセス).
- Kuwae, M., Yamamoto, M., Sagawa, T., Ikehara, K., Irino, T., Take-mura, K., Takeoka, H. & T. Sugimoto, 2017. Multidecadal, centennial, and millennial variability in sardine and anchovy abundances in the western North Pacific and climate-fish linkages during the late Holocene. *Prog. Oceanogr.*, 159, 86-98.
- Francisco Marcolino Gherardi, D., Katsuragawa, M. & E. Tavares Paes, 2012. Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis* Steindachner, 1879) spawning and nursery habitats: spatial-scale partitioning and multiscale relationship with thermohaline descriptors. *ICES J. Mar. Sci.*, 69(6), 939-952.
- 見延庄士郎, 2014. 素過程から数十年スケールに及ぶ海洋大気結合変動の解析研究—2013年度日本海洋学会賞受賞記念論文—. 海の研究, 23(5), 147-169.
- Mörner, N. A., 1993. Present El Niño-ENSO events and past super-ENSO events. *Bul. Inst. fr. études andines*, 22(1), 3-12.
- Mörner, N. A., 1995. Earth rotation, Ocean Circulation and Paleoclimate. *GeoJournal*, 37(4), 419-430.
- 内藤勳夫, 1988. 地球回転と大気海洋力学. その新しい連携, 天気, 35, 291-311.
- 内藤勳夫, 菊地直吉, 1989. 地球の角運動量収支とコア・マントル非結合. 天気, 36, 625-630.
- 中井甚二郎, 1938. マイワシの鰓耙の構造と食餌との関係について. 水産研究誌, 33, 547-561.
- 西岡秀雄, 1953. 銚子・九十九里一帯の漁況周期. 地理学評論, 26(2), 23-24.
- 野口真紀, 千葉早苗, 田所和明, 2018. 北太平洋における10年規模の気候変動と海洋低次生態系の応答. 海の研究, 27(1), 43-57.
- 農林水産省統計情報部, 1984-2014. 『漁業・養殖業生産統計年報』. 東京.
- Oozeki, Y., Niquen Carranza, M., Takasuka, A., Ayon Dejo, P., Kubota, H., Tam Malagas, J., Okunishi, T., Vasquez Espinoza, L., Gutierrez Aguilar, D., Okamura, H. & R. Guevara Carrasco, 2019. Synchronous multispecies alternations between the northern Humboldt and Kuroshio Current system. *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.*, 159, 11-12.
- 尾崎友亮, 隈 健一, 内藤勳夫, 1994. 気象庁数値予報モデルによるAAM関数の予報. 地球回転, 「月刊地球」地球回転, 175, 32-35.
- Ponsar, S., Dehant, V., Holme, R., Jault, D., Pais, A. & T. van Hoolst, 2003. The core and fluctuations in the Earth's rotation. In: Dehant V., Creager K. C., Karato S.-I., & Zatman S. (eds.) *Earth's Core: Dynamics, Structure, Rotation*. *Geodynamics Series*, 31, 251-261.
- Roberts, P. H., Yu, Z. J. & C. T. Russell, 2007. On the 60-year signal from the core. *Geophys. Astrophys. Fluid Dyn.*, 101(1), 11-35.
- Rosen, R. D. & D. A. Salstein, 1983. Variations in atmospheric angular momentum on global and regional scales and the length of day. *J. Geophys. Res.*, 88(C9), 5451-5470.
- 杉本隆成, 黒田一紀, 坪井守夫, 加 三千宣, 2005. 資源変動の歴史の変遷-古文書と堆積物コアに基づく海洋環境と生物生産の推定. 「月刊海洋」, 422, 563-567.
- Tachibana, Y., Honda, M. & K. Takeuchi, 1996. The abrupt decrease of the sea ice over the southern part of the Sea of Okhotsk in 1989 and its relation to the recent weakening of the Aleutian Low. *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 74(4), 579-584.
- 高須賀明典, 2007. 気候変動からマイワシ資源変動に至る生物過程. 日本水産学会誌, 73(4), 東京, 758-762.
- Tameishi, H., Takahashi, H. & H. Shinomiya, 1989. The relationship between long term variations in the stock of the sardine *sardinops melannactica* and the velocity of earth rotation. *Proceeding of the international symposium, Long-term variability of pelagic fish populations and their environment*, 311-318.
- Tremberth, K. E., 1990. Recent observed climate changes in the Northern Hemisphere. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 71(7), 988-993.
- Tremberth, K., James, E. & W. Hurrell, 1994. Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific. *Clim. Dyn.*, 9(6), 303-319.
- 鳥海光弘, 玉木賢策, 谷本俊郎, 本多 了, 高橋栄一, 巽好幸, 本蔵義守, 1997. 「地球内部ダイナミクス」. 岩波書店, 東京, pp. 231-261.
- 友定 彰, 1988. 水温の長期変動とマイワシ漁獲量との関係. 水産海洋研究会報52(4), 332-333.
- 友定 彰, 2008. 海洋環境からみた1910年代と70年代におけるマイワシ資源の増加. 月刊海洋, 40(3), pp. 195-202.
- 坪井守夫, 1987a. 本州・四国・九州を一周したマイワシ主産卵場(1). 東海区水研業績C集, さかな, 38, 2-18.
- 坪井守夫, 1987b. 本州・四国・九州を一周したマイワシ主産卵場(2). 東海区水研業績C集, さかな, 39, 7-24.
- 坪井守夫, 1988. 本州・四国・九州を一周したマイワシ主産卵場(3). 東海区水研業績C集, さかな, 40, 37-49.
- Venrick, E. L., McGowan, J. A., Cayan, D. R. & T. L. Hayward, 1987. Climate and chlorophyll as long-term trends in the central North Pacific. *Ocean Sci.*, 238(4823), 70-72.
- 若生康二郎, 1979. 「地球回転」. 恒星社厚生閣, 東京, 239.
- 渡部泰輔, 1993. 多獲性浮魚類の魚種交替について. 月刊海洋, 25(7), 東京, 410-420.
- Yasuda, I., Sugisaki, H., Watanabe, Y., Minobe, S. & Y. Oozeki,

2001. Interdecadal variations in Japanese sardine and ocean/ climate. *Fish. Oceanogr.*, 8(1), 18-24.
- 安田一郎, 建部洋晶, 長船哲史, 能登雅之, 2006. 動物プランクトン群集組成の長期変動データに基づく海洋生態系の気候変動応答過程の解明に関する研究. B-14, 23-50.
- Yasunaka, S. & K. Hanawa, 2002. Regime shift found in the Northern hemisphere SST field. *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 80(1), 119-135.
- 横山紘一, 1994. 地球回転観測の100年史. 「月刊地球」地球回転, 16(1), 8-11.
- Zupanovich, S., 1986. Causes of fluctuation in sardine catches along the eastern coast of the Adriatic Sea. *Anali Jadranskog Inst.*, IV, 89-401.

* * * * *

Long-Term Relationship between Velocity of the Earth Rotation and the Catch Volume of Japanese Sardine (*Sardinops melanostictus*)

Hideo Tameishi*¹, Nobuyuki Yagi*¹, Hisayoshi Shimizu*²

*¹ Graduate School of Agriculture and Life Science, University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo, Tokyo 113-8657, Japan

*² Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo, Tokyo 113-0032, Japan

Received: March, 30. 2021, Accepted: September, 30. 2021