

1 海洋に関する教材研究

(1) 学習指導要領における取り扱い

学習指導要領では「大気と海洋」について項目が建てられており、内容としては大気と海水の運動について取り扱うように設定されている。しかし、この項目以外にも、「地球の特徴」については、海が形成されたことを中心に扱うように指示がなされている。「地層の形成」では海洋における堆積作用についても取り扱う。また、「古生物の変遷」では生命の誕生や陸上進出など、海洋に関する内容が取り扱われている。また、「地球環境の科学」では、エルニーニョ現象など海洋に関することが取り扱われている。このように地学基礎では海洋についてまとめて学ぶのではなく、それぞれ別のテーマの中で海洋を学習する。

海洋の存在は生命の誕生や地球の気候の安定化に重要な役割を果たしており、地球環境を考える上で無視できない存在である。海洋についての知識を学ぶことにより、地学基礎で取り扱う内容の理解が深まる。

(2) 海洋教育について

海洋教育基本法に「海洋に関する国民の理解の増進等」という文言が定められた。その背景には、海洋資源や海上交通、領土などといった我が国周辺の海洋をめぐる諸問題がある。日本は世界で6番目に広大な排他的経済水域を持っており、7つの国・地域と協議して海洋を管轄する必要がある。

海洋基本法の理念に基づく人材を育てることを目標とし、海洋政策研究財団は2007年に「21世紀の海洋教育に関するグランドデザイン」を提言している。その中で、海洋教育のコンセプトとして、海に親しむ、海を守る、海を知る、海を利用するの4つが設定されている。地学基礎で学ぶ内容は、この中では「海を知る」の分野に該当している。

また、グランドデザインの中では海洋教育の12分野も設定されている。そのうち、地学基礎に該当する分野は、地球（海洋や海と関わる地球の仕組みに関すること）、物質（海の科学的な特性に関すること）、生命（海に生

きる生物に関すること)、環境・循環(海の循環や物質の循環システムに関すること)、資源エネルギー(海からもたらされる資源やエネルギーとその利用に関すること)の6分野にまたがっており、海洋教育の12分野のうち、半分の分野をカバーしている。

海洋教育に関しては、現在明確なカリキュラムが位置付けられていない。地学基礎で学ぶ内容は、海洋教育という枠組みでは海洋を位置付けていないものの、扱う内容は海洋との関わりが大きい。海洋について知るという意味では地学基礎は非常に重要な意味を持つ。

(3) 海に関する意識調査から

日本財団が行ったアンケートによると、海は日本人の教育にとって大切な存在であると感じている人数は、年代が若いほど減っている。10代では4分の1の生徒が海の教育は大切ではないと感じている。これは、海の重要性知らないことがその原因の1つであると考えられる。例えば、海洋資源や海洋が環境に与える影響などの知識は中学までの分野ではほとんど学ばない。義務教育課程を受けるだけでは、海洋の持つ重要性には気付きにくい。先行実践も海に親しむ姿勢を養うものがほとんどで、海洋の重要性を認識するような知識は、高校以上の内容となってしまう。アンケートにも海という言葉聞いた時に連想するものはレジャーが最も多く、海洋資源や環境問題について考えが及ぶ人は少ない。しかし、海の重要性はレジャーではなく資源や環境の観点から考えるべきである。

Q.海は日本人の教育にとって、大切な存在である

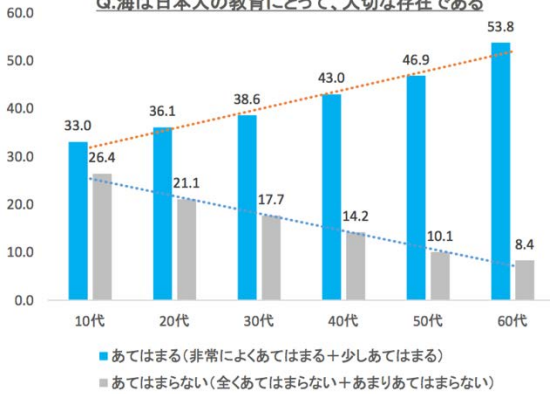


図2. 日常生活の中で「海」と聞いて思い浮かべることは何ですか。

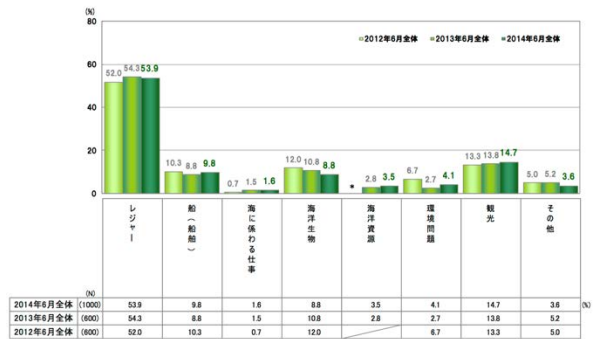


図 海に関する意識調査 (出典：日本財団)

(4) 地球における海洋の役割

①気温の安定化

太陽系の地球型惑星の大気組成を比べると、地球以外の惑星は二酸化炭素が大気の主成分であることがわかっている。地球には海洋があることで、二酸化炭素が海洋に溶けて、大気から除去され続けてきた。そのため、現在のような二酸化炭素濃度 (0.04%) になっている。地球が形成された時には、二酸化炭素により現在よりも数十倍も大気の密度が高かったと考えられている。もし海洋が存在していなければ、地球も他の惑星と同様、二酸化炭素が大気の主成分となっており、地表の平均気温も金星同様数百度になっていたと考えられている。

また、地球の気温を見ると、変化の幅が他の惑星に比べて狭い。その理由もやはり海洋が存在しているからである。海洋は比熱が高いために、大気に比べて温まりやすく冷めやすいという性質を持っている。そのため、大気が温まりすぎた場合には海洋が大気を冷やし、逆に大気が冷えすぎた場合には海洋が大気を温めている。

主 目録の 監 (山崎・海への教科書)

物質名	比熱J/(g・K)
アンモニア (液体)	4.81
水	4.18
エタノール	2.45
砂	1.10
空気	1.01
二酸化炭素	0.85
鉄	0.44

表 各天体の温度及び大気の主成分（出典：惑星・太陽の大発見）

天体	地表の最高温度	地表の最低温度	温度差	大気の主成分
地球	58°C	-88°C	146°C	窒素
月	123°C	-233°C	356°C	非常に希薄
水星	427°C	-173°C	600°C	非常に希薄
金星	462°C	462°C	0°C	二酸化炭素
火星	-5°C	-87°C	82°C	二酸化炭素

②生命誕生の場としての海洋

海洋は様々な元素を溶かし込み、元素同士の反応を進める溶媒としての働きもする。そのため、生命がいるための条件として第一に液体があることが挙げられている。生命が誕生した後も、海洋は太陽からの有害な紫外線を防ぐ役割を果たしてきた。生命が誕生したばかりの頃はオゾン層もなく、太陽からの有害な紫外線がそのまま地表へ降り注いでいた。海洋は紫外線を通さなかったため、生命は海洋の中にいることで、紫外線などの影響を受けずに進化することができた。このように、生命が発生してから陸上に進出するまで、海洋の存在は生命にとって必要不可欠なものであることがわかる。

③物質循環の場としての海洋

水の得意な性質として様々な物質を溶かし込むことが挙げられる。純粋なH₂Oはハングリーウォーターとも呼ばれ、物質との反応性が高い。そのため、海水は様々な元素を溶かし込み、物質循環の重要な中継地点となっている。例えば、炭素は大気から海洋に取り込まれ、カルシウムと結びつくことで石灰岩となり、大気や海洋から除去

されている。海洋に溶けている元素としてはあまり知られていないが、硫黄なども存在している。

表 地球表層の揮発性成分の分布、単位はモル。総量については、気体分子として大気に放出した場合の量を気圧で表したもの。(出典：大気の進化46億年)

成分	大気	海洋	地殻	総量	主な存在形態
水 (H ₂ O)	—	7.8×10 ²²	4.1×10 ²¹	270 (H ₂ O)	水 (H ₂ O)
炭素 (C)	5.8×10 ¹⁶	3.3×10 ¹⁸	1.0×10 ²²	80 (CO ₂)	炭酸カルシウム (CaCO ₃) 有機物 (CH ₂ O)
塩素 (Cl)	—	7.6×10 ²⁰	7.6×10 ²⁰	10 (HCl)	塩素イオン (Cl ⁻) 塩化ナトリウム (NaCl)
硫黄 (S)	—	4.0×10 ¹⁹	3.5×10 ²⁰	5 (SO ₂)	硫化カルシウム (CaSO ₄) 硫化鉄 (Fe ₂ S) 硫酸イオン (SO ₄ ²⁻)
窒素 (N)	2.9×10 ²⁰	—	1.4×10 ²⁰	1 (N ₂)	窒素 (N ₂) 有機物 ([-NH ₂])
アルゴン (Ar)	1.7×10 ¹⁸	—	—	0.01 (Ar)	アルゴン (Ar)

海洋では様々な元素が循環しており、その中には資源として利用されているものもある。現在我々が使用している資源の中でも鉄は非常に重要な元素である。鉄資源も海洋と深い関係がある。海洋の組成は現在と過去では大きく異なっていたと考えられている。海洋が形成された時、海洋や大気には酸素が存在していなかった。そのため、地表の岩石や熱水鉱床から供給された鉄イオンが初期の海洋には多く存在していたと考えられている。その後、シアノバクテリアが登場し、光合成が開始されると海洋にも酸素が供給され始めた。この時、それまで海洋に溶けていた鉄イオンが酸素と結びつき、大量の縞状鉄鉱層を形成した。縞状鉄鉱層は現在の鉄資源の7割程度を占めている。また、現在では海洋資源として海底熱水鉱床やレアアース泥、メタンハイドレード、マンガノジュールなどが注目されている。海洋は元素を濃集させることにより、鉱床を作り出していると言える。



図 マンガンのジュール (出典：JAMSTEC)



図 条状鉄鉱層 (出典：奇石博物館 HP)

④ 熱の移動

海洋は大気と同様に熱を低緯度側から高緯度側へと運んでいる。また、海流は深層へと対流することで熱を表層から深層へと運んでいる。深層循環は熱を低緯度側から高緯度側へと運んでおり、深層循環が弱いと低緯度と高緯度の温度差が大きくなると言われている。

(5) 地学基礎の学習内容と海洋の関連性

地学基礎で学習する内容は、海洋と関連のある単元が多い。表に海洋と関連する単元を示す。海洋が地学基礎でこれだけ取り上げられる理由は比熱が高いことと、化学反応を行う溶媒としての性質が優れていることが挙げられる。比熱の高さは気温の安定かや熱の移動と関連している。溶媒としての優秀さは、生命誕生の場として海洋が適していることや、様々な資源が海洋で形成されていることと関連している。

表 地学基礎で取り扱う学習内容と海洋の関係

	海洋と関係のある学習内容	関係する海洋の持つ特性
地球物理	岩石の溶融	高い反応性
地質	堆積岩の形成	高い反応性
	風化、侵食	高い反応性

地球史	生命の誕生	高い反応性
	鉄鉱石の生成	高い反応性
天文	ハビタブルゾーン	高い反応性、比熱の大きさ
気象	海陸風・季節風	比熱の大きさ
	エルニーニョ現象	比熱の大きさ
環境問題	地球温暖化	高い反応性、比熱の大きさ

3 海洋分野の単元構成

海洋は次の2点の特徴を持っているから、地球にとって重要な物質となっている。

- (1) 高い比熱を持っている。
- (2) 常温では液体であり、様々な元素と高い反応性がある。

①海洋の存在と大気の安定化

海洋が存在してきたことにより、地球大気の温度の変化の幅は狭くなっている。また、海洋が水蒸気を放出することにより海洋は巨大な熱の貯蔵庫となっており、地球環境を安定化させている。

②生命の誕生と海洋の果たした役割

海洋は様々な元素を溶かしこみ、化学反応が起きる場として機能しており、海洋で生命が誕生した。生命が誕生した後も生命は海洋が紫外線や太陽風などの有害な影響から生命を守っていた。

③資源と海洋

海水には多種多様な元素がとか仕込まれている。それらの元素が濃集し、現在使われているような形で資源物質として堆積する。代表的なものは循環を考える上でのリザーバーとなっている。二酸化炭素を含む炭素循環に

加えて、縞状鉄鉱層などの鉄資源、レアアース泥や熱水鉱床、メタンハイドレードなどの海洋資源も物質循環の一部である。

④地球大気の進化と海

地球史の初期の頃の気組成は、現在の気組成と全く異なっており、二酸化炭素が主体の待機だったと考えられている。海洋が誕生したことにより、この二酸化炭素が海洋に吸収され、濃度が薄くなっていったと考えられている。もし海洋がなければ、現在の金星のように厚い二酸化炭素の大気に覆われていたと考えられている。

⑤海洋と熱の移動

海洋は対流により低緯度から高緯度へと熱を輸送している。海洋は高い比熱を持っているため、熱を輸送しながら沿岸地域の気候にも影響を与えている。これは水の高い比熱によるところが大きい。

⑤エルニーニョ現象と海水温

エルニーニョは太平洋の表面海水の温度がわずかに数度変化するだけの現象である。それにもかかわらず、地球全体の気候へと影響を与え、いつもとは異なった対流パターンを作り出す。これは海洋の高い比熱が原因となっている。

⑥海陸風と季節風

陸と海だと、海の比熱が4倍ほど高く、海は暖まりにくく冷めにくい。そのため、昼と夜で陸と海の温度が逆転する。陸と海で温度が高い方が上昇気流を起こす地域になるため、風が吹く向きが昼夜で逆になる。同様の現象が季節風でも起きている。

⑦惑星の気候と海

惑星の気候は海洋の存在に大きく影響を受ける。高い比熱と反応性により、温度が安定する。

⑧系外惑星の海

海洋の存在は生命が誕生するために必要な条件だと考えられている。海洋が存在できる恒星からの距離のことをハビタブルゾーンと呼んでいる。

⑨海洋の環境問題

海洋は大気中の二酸化炭素問題とも密接な関係を持っている。待機中の二酸化炭素が増加することにより、海洋酸性化といった問題が発生する

海洋の酸化炭素問題

(1) 海洋酸性化

大気中の二酸化炭素が増加したことにより、海洋にも影響が出る。二酸化炭素が海洋に溶け込むと炭酸イオンへと変化し、海洋を酸性にする。

産業革命以前は海の平均的な pH は 8.17 程度だったが、現在は 8.06 に低下している。二酸化炭素は海水の温度が低いほど溶けやすくなるため、海洋酸性化の影響も緯度によって異なる。そのため、極域になるほど海洋酸性

化が進んでおり、pH が 7.84 まで低下している。pH 表記であるため、かすかな変化に感じるが、二酸化炭素を固定して炭酸カルシウムの殻を作っている生物にとっては大き

な問題となる。すでに、有孔虫など小型の石灰殻を作る生物の中には、殻の密度が低下しているものもある。このまま海洋酸性化が進めば、年間 3 億トンも二酸化炭素を固定している貝などの生物に大きな影響を与えることが懸念されている。

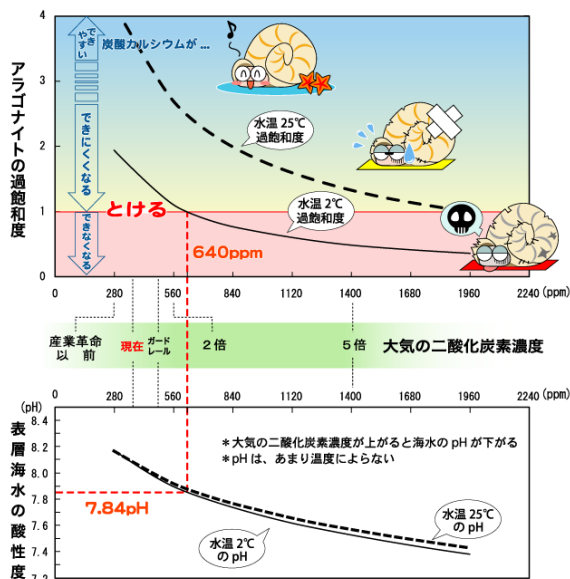


図 1 海洋酸性化の影響 気象庁 IPCC

(2) 海洋温暖化

海洋は大気熱を大量に吸収している。1971年から2010年までの40年間に地球全体で蓄積された熱エネルギーの9割以上は海洋に吸収されている。一時期大気温暖化が止まったように見えたのは、海洋がその分の熱を吸収していたためだと考えられている。

地球温暖化が進むにつれて海洋の温度も上がってきており、世界全体の平均海面水温はこの100年間で0.52°C高くなったと考えられている。わずかな上昇に感じられるが、海の生物にとっては1°Cの温度差でも大きな影響を受ける可能性がある。海面水温の上昇率は地域によっても異なっており、沖縄では0.7°C近く上昇している海域もある。

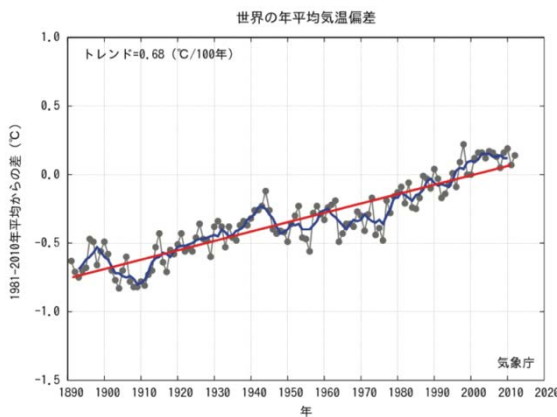


図 世界の年平均気温差（気象庁HPより）

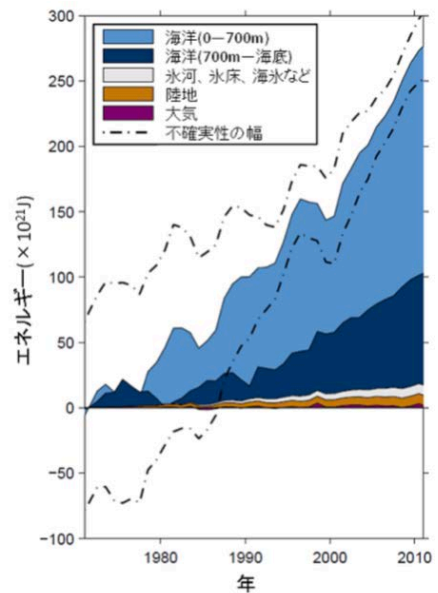


図 エネルギーの変化量（気象庁HPより）

(3) 地球温暖化懐疑論との関連

地球温暖化に対して懐疑的な学者も存在しており、幾つかの主張がなされている。二酸化炭素による地球温暖化は複雑な計算モデルを使用しているために、理解しにくい。そのため、以下のような内容の懐疑論が提出されている。

①そもそも温暖化はしていない。

近年のデータのみを見ると、2000年から数年間は温度が上昇していないように見える。このデータを基にして、温暖化は終わったと主張する人たちもいる。実際には温暖化による熱は海洋に吸収されており、海洋全体のエネルギーや海面上昇も止まらずに続いている。

②二酸化炭素が温暖化の主因ではない

このように主張する論拠の1つは、温室効果ガスの多様さである。温室効果ガスは二酸化炭素以外にも水蒸気やメタンガスなどが存在しており、二酸化炭素の濃度を考えると温室効果ガスとしての働きは水蒸気の方が大きい。そのため、水蒸気の効果を考えれば二酸化炭素の濃度による影響は小さいとする考え方である。しかし、気候モデルでの計算では水蒸気の効果を考えても、二酸化炭素による温暖化は起きている。

このような懐疑論を反映してか、2014年に行われた意識調査では東京では「地球温暖化が起きているのは科学的な事実」だと思っている人口は78%、「地球温暖化は人類の活動によって引き起こされている」と考えている人は82%だった。また、東京の意識調査の特徴として、どちらかと言えばそう思うと考えている人が多く、確信を持って温暖化していると考えている人口は他国に比べても圧倒的に低い。

問. 地球温暖化に関する次のような意見に対して、あなたはどのようにお考えですか。

「地球温暖化が起きているのは科学的な事実である」

「地球温暖化は人類の活動によって引き起こされている」

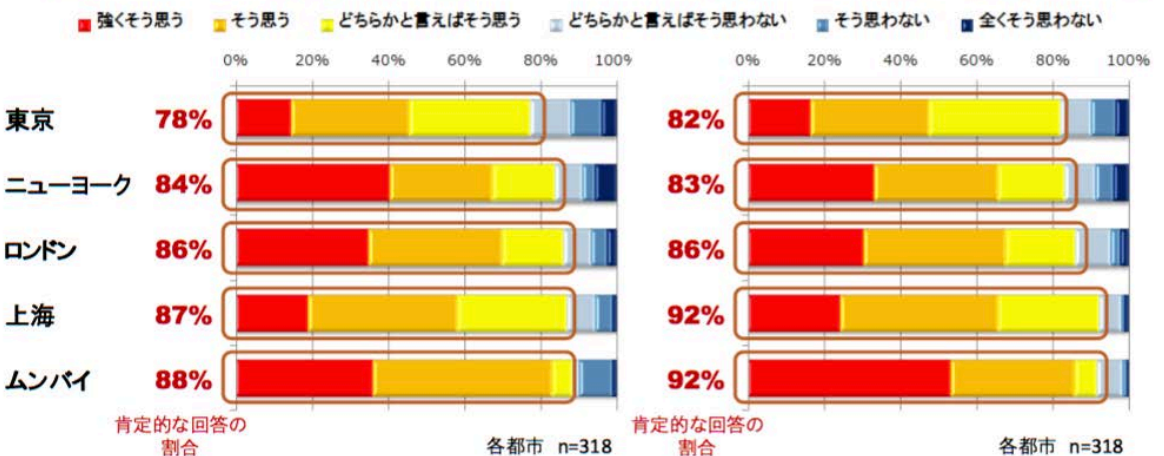


図 地球温暖化に対する意識調査 (出典:みずほ情報総研)

5 海の二酸化炭素問題（本授業について）

(1) 海洋における二酸化炭素の固定

・海洋で吸収された二酸化炭素は貝や有孔虫、サンゴなどにより、石灰石として固定され、年間3億トンも大気から除去される

・植物の光合成は、一時的に二酸化炭素を減らす、植物の体が分解されてしまえば二酸化炭素に戻る。

・二酸化炭素を大気から除去できるのは

(2) 海洋温暖化

・海洋が温暖化すると、海洋に溶けていた二酸化炭素が溶け出す。二酸化炭素が溶け出すと温度が上がる。そのため、温暖化がどんどん加速すると考えられる。

・大気—海洋間で交換した二酸化炭素が深層を含む海洋全層に及ぶには、1000年あるいは2000年もかかる。

(3) 海洋酸性化

・海洋酸性化が進むと、貝やサンゴなどの二酸化炭素を固定化する生物がダメージを受ける。大気から二酸化炭素を除去するシステムが止まってしまう。

・海洋は毎年化石燃料により発生した二酸化炭素の30%を吸収している。

(4) すでに進行しつつある海洋の二酸化炭素問題に関する探求活動

・現在進行しつつある海洋酸性化について、インターネットなどを使い調べる。

・日本海では地球温暖化により鉛直方向の循環が弱まり、深海の溶存酸素量が低下している。

・北極海は海洋酸性化の影響をいち早く受けており、オキアミの現象などの影響が現れ始めている。

参考文献

- 1 『海の温暖化』朝倉出版、日本海洋学会/2 『ブルーカーボン』地人書館、堀真和/3 『地球温暖化は解決できるのか』、岩波ジュニア新書、小西雅子/4 『海の教科書』ブルーボックス、柏野祐二/5 『うみまるごと大研究』、講談社、保坂直紀/6 『貧酸素水塊』、生物研究者、山窪真澄/7 『地球温暖化』、日本気象学会/8 『日本海』ブルーボックス、蒲生 俊敬/9 『ジバングの海』講談社、横瀬久芳/10 『日本の深海』ブルーボックス、滝澤美奈子/11 『太平洋のレアアース泥が日本を救う』PHP 新書、加藤泰浩/12 『海洋資源大国目指す日本プロジェクト』角川SSC 新書、石川憲二/13 『国産海底資源』東洋経済/14 『異常気象と人類の選択』角川SSC 新書、江守正多/15 『火星の科学』誠文堂新光社、藤井旭/16 『地球はもう温暖化していない』平凡社、深井有/17 『地球進化論』岩波書店、平朝彦/18 『地球環境論』岩波書店、住明正/19 『比較惑星学』岩波書店、松井孝典/20 『大気の進化46億年』技術評論社、田近英一/21 『太平洋その深層で起こっていること』ブルーボックス、蒲生 俊敬/22 『地球はなぜ水の惑星なのか』ブルーボックス、唐戸俊一郎/23 『地球46億年気候大変動 炭素循環で読み解く、激動の地球史』横山祐典/24 『人類と気候の10万年史』ブルーボックス、中川毅/25 『地球温暖化対策に関する世論調査』内閣府/26 『地球温暖化に関する海外アンケート調査』みずほ情報総研株式会社/27 『海と日本に関する意識調査』日本財団/28 『惑星・太陽の大発見』新星出版社、田近英一