海の学び
A Study of the Ocean

プランクトンから学ぶ地球科学
樹脂標本学習キット

Resin Specimen Learning Kit- Learn Earth Science from Plankton

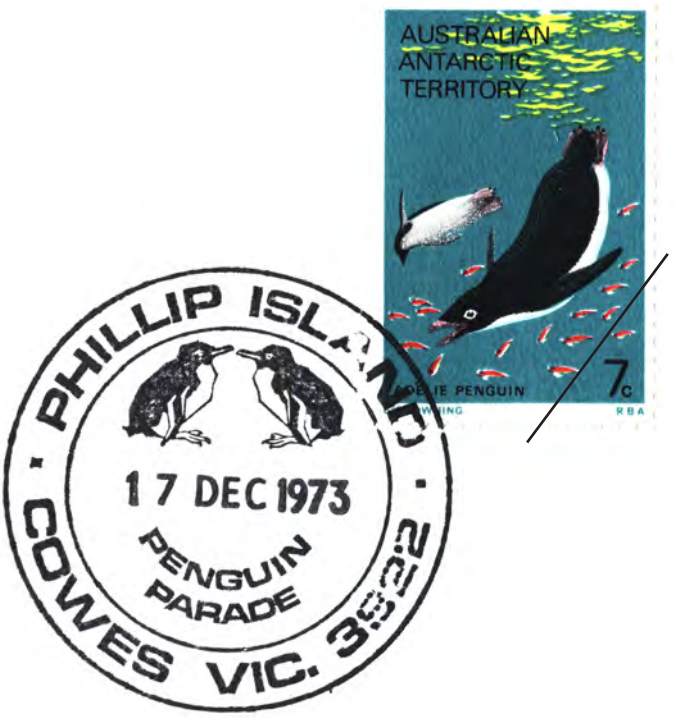
持続可能な社会を目指すために、地球の約７割を占める海洋を知り、アクションを起こそう

Learn about the ocean, which comprises approximately 70 percent of the earth, and take action to improve and create a sustainable society.

蘭越町貝の館
Shellfish Museum of Rankoshi

海の学びミュージアムサポート
Supported by 日本財団 THE NIPPON FOUNDATION

切手になったプランクトン
Plankton that Became a Postage Stamp



1973年発行
ナンキョクオキアミを食べるアデリーペンギン（オーストラリア）

Issued in 1973
Adélie penguin eating Antarctic Krill (Australia)

ようこそプランクトンの世界へ

Welcome to the World of Plankton

「プランクトン」という言葉は、古代ギリシャ語で「漂う」「流される」といった意味をもつ「planktos」に由来していて、淡水・海水を問わず世界中の水域に浮遊している生物の総称です。

「プランクトン」の反意語として「ベントス」が挙げられます。「ベントス」は古代ギリシャ語で「海底」の意味をもつ「depth」に由来していて、海底に生息する生物の総称です。

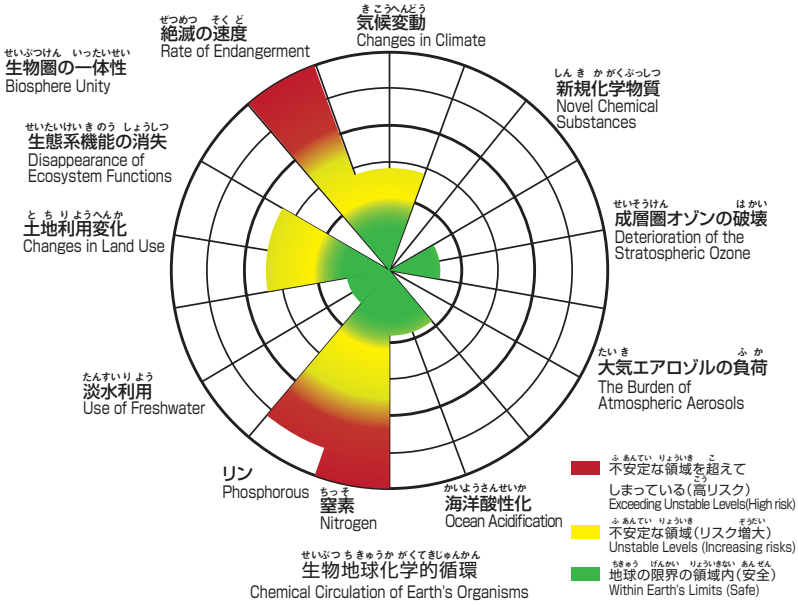
海洋生物のほとんどは、卵から孵化した時に、幼生期間を経験します。幼生期間は、水中を漂っているため、「プランクトン」と呼ばれます。例えば、「ベントス」でも生活段階の一部を「プランクトン」で生活する生物もいます。貝類の多くは「ベントス」に区別されますが、「ベントス」と「プランクトン」は密接な関係にあります。

The word "plankton" is derived from the ancient Greek word "planktos" which has meanings of "drift" or "flow," and refers to all organisms, regardless of whether they are saltwater or freshwater organisms, that float in the waters throughout the world.

The opposite word for "planktos" is "benthos," which is derived from the ancient Greek word "depth" which means organisms that live on the bottom of the ocean.

Most marine organisms experience a larval stage after they hatch from an egg. During this larval stage the organisms float freely in the water, and are called "plankton" for this reason. For example, even "benthos" spend a portion of their life as "plankton." Most of the shellfish are categorized as "benthos," but "benthos" and "plankton" share a very close relationship.

地球の限界
The Earth's Limits



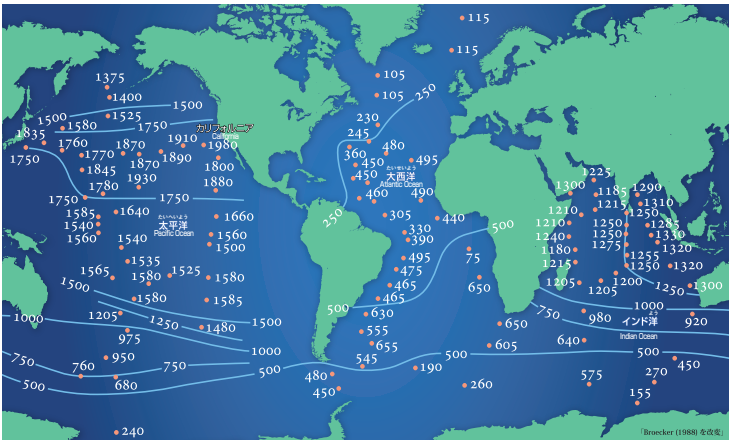
地球の環境問題に関するリスクをまとめると、気候変動、窒素・リンの循環・土地利用の変化・生物多様性が問題とされています。海洋の役割を学び、これらの問題に直面している現在、どのようなアクションを起こせば良いのか、考えてみましょう。

If we consolidate the risks related to the environmental issues of the Earth, the most significant issues are climate change, nitrogen, phosphorus circulation, changes in the use of land, and biodiversity. Let's take a look at the role the ocean plays, and determine what actions we should take regarding such current issues.

海水の年齢
The Age of the Ocean Water

海水中に含まれる炭素 14 の半減期（約 5,730 年）を調べたところ、海水の年齢が判明しました。海水の年齢は、北太平洋で最も若く、インド洋、太平洋では古く、カリフォルニア沖で最も古いことがわかりました。このことから、約 2,000 年をかけて、海水が循環していることが解りました。

Upon researching the amount of Carbon 14 (halflife = 5,730 years), we were able to determine the age of ocean water. The seawater is the youngest in the North Pacific Ocean, an older in the Indian and Atlantic Ocean, the seawater off of California being the oldest. From this research we were able to determine that the seawater has been circulating for approximately 2,000 years.



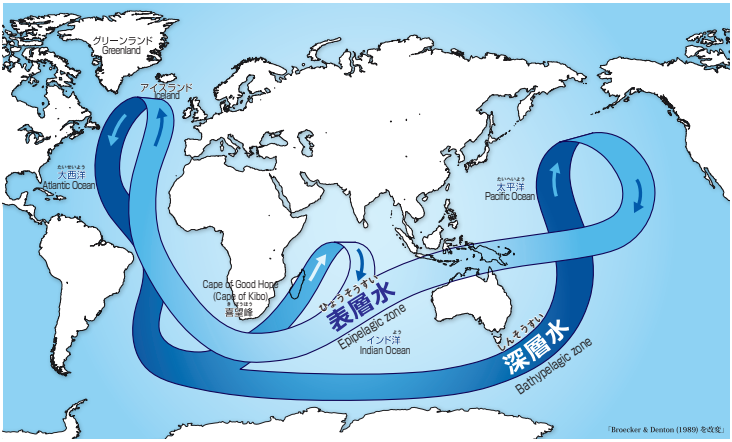
水深約3,000mの海水に含まれる炭素14から求められた海水の年齢

The age of seawater was examined by the amount of Carbon 14 in depths of 3,000 meters.

海洋大循環
The Great Marine Circulation

海水の年齢から、海水の循環が判明しました。海水は、グリーンランド沖で大気などで冷却されることにより、密度が高くなり、重くなります。重くなった海水は沈み込み、海底地形に沿って流れます。そして、約 2,000 年後に、沈み込んだ海水は表層に湧き出ます。この循環は、地球全体の気候を保つのに重要に役割を持っています。

From the age of the ocean, we were able to determine how seawater circulates. Seawater off of Greenland was chilled by the atmosphere, and became more dense and heavy. Heavy seawater then sank to the seabed, and was carried along the submarine terrain. Approximately 2,000 years later, seawater that had sunk to the seabed begins to flow into the Epipelagic zone. This circulation plays a significant role in maintaining and stabilizing the earth's climate.

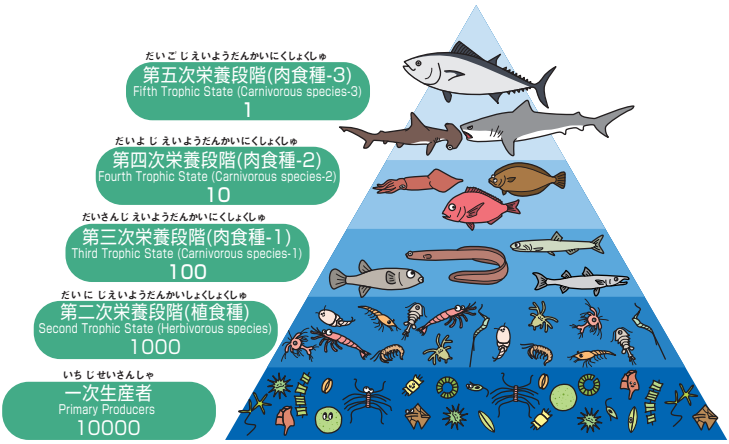


海水に含まれる炭素14から求められた海水の大循環
Giant marine circulation from Carbon 14.

海洋生態系
Marine Ecosystem

海洋生態系の最小単位は植物プランクトンです。海洋生態系のバランスは、生物間の相互作用、生息環境間との相互作用で保たれています。なんらかの要因で、相互作用が崩れると、海洋生態系のバランスは保たれず、持続可能な漁業、生物多様性の危機に繋がります。

The smallest unit of marine Ecosystem is phytoplankton. The ecological balance of marine life is maintained by functional interaction between organisms, and between the environment in which the organisms live. If this functional interaction is broken for some reason, the balance of marine ecology cannot be maintained, and will lead to the endangerment of sustainable fisheries, as well as biodiversity.

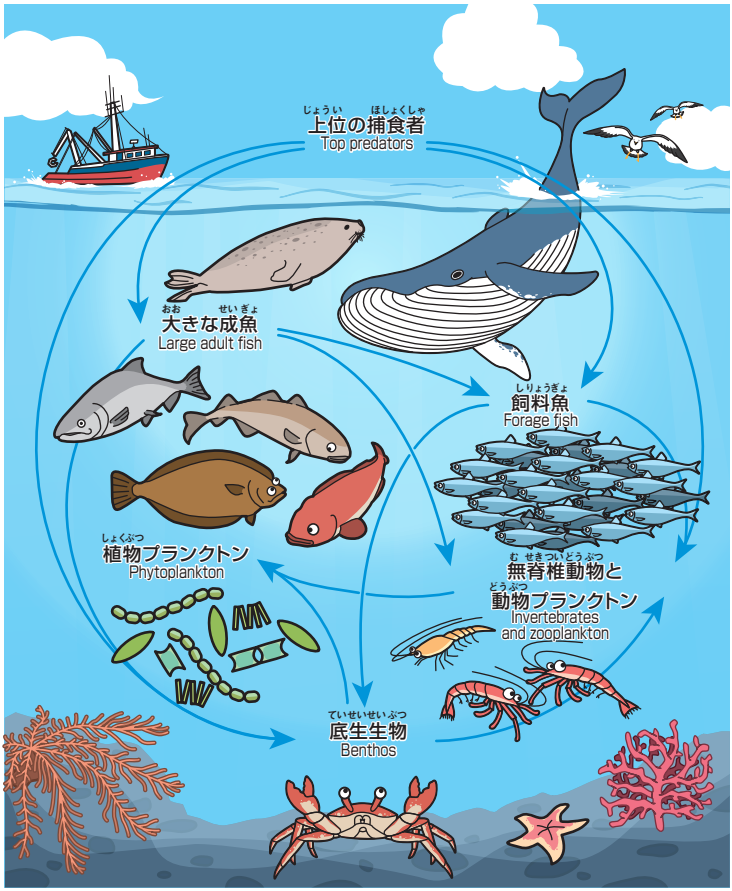


海洋の生態ピラミッド
Pyramid of Marine Ecology

図中の数字は第五次栄養段階生物の量を1とした場合の下位の生物の捕食される量。
The numbers in the diagram show the lowest predatory amount when the amount of species in the Fifth trophic state are set at 1.

北太平洋における海洋生態系の食物連鎖の例

An Example of the Food Chain for Marine Ecology in the Northern Pacific Ocean

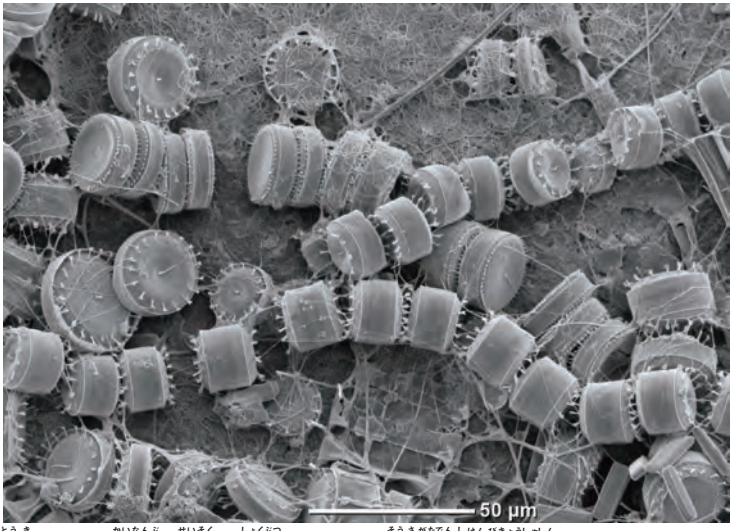


海洋生態系の最小単位 植物プランクトン

Phytoplankton, the Smallest Living Organisms in Marine Ecology

プランクトンとは、自分で泳ぐ能力が無い動植物のことを言います。植物プランクトンは、太陽光と海水中の栄養を使って成長します。太陽光や海洋中の栄養によって、増加したり、減少したりします。植物プランクトンは、海洋生態系において最も重要な役割をしています。

Plankton are organisms that live in the ocean, and are unable to swim on their own. Phytoplankton rely on photosynthesis and utilize nutrients in the sea water for growth. Their number increases or decreases depending on the amount of sunlight and nutrients present in the sea water. Phytoplankton play the most important role in marine ecology.

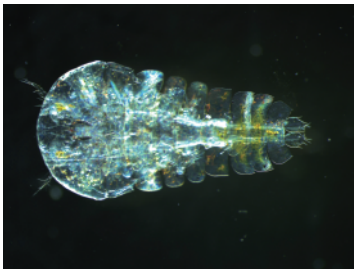


冬期オホーツク海南部に生息する植物プランクトンの走査型電子顕微鏡写真 (スケールは1/20mm)

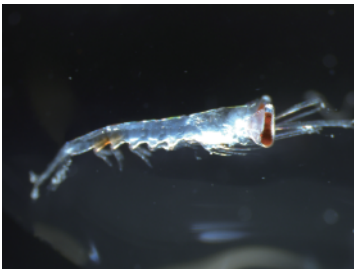
Scanning electron microscopic (SEM) photo of phytoplankton collected from the southern part of the Sea of Okhotsk during winter (Scale: 1/20mm).

世界の海洋で見られる動物プランクトン
Ocean Zooplankton of the World

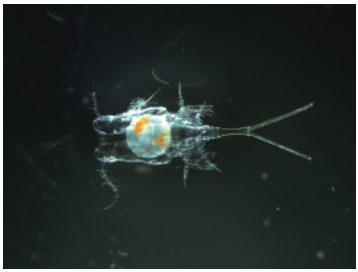
Euchirella sp.



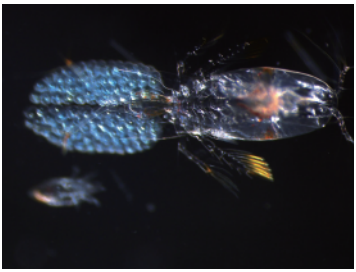
Sapphieina darwinii



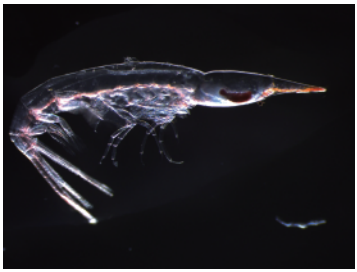
Stylocheiron microphthalma



Copilia mirabilis



Corycaeus speciosus



Leptocotis tenuirostris

※北海道大学大学院水産科学研究院 松野孝平博士提供

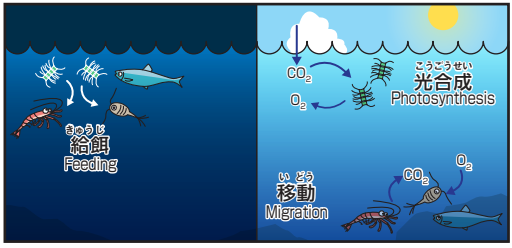
*Provided by Ph.D Matsuno Kohei of the Hokkaido University Graduate School Fisheries Department Research Center.

海の運び屋 動物プランクトン

Zooplankton, Porters of the Ocean

動物プランクトンは、植物プランクトンを直接的または間接的に捕食して浮遊生活をします。プランクトンだけあって、移動能力はなさそうですが、昼間は深場で過ごし、夜になると海面近くに移動する種類がいます。これは、植物プランクトンが豊富な表層に移動することで、餌を多く食べることが出来ます。この移動のことを「日周鉛直移動」と言います。また、日周鉛直移動によって、表層の物質が深層に運ばれることを「生物ポンプ」と言います。動物プランクトンは、海洋の食物連鎖だけではなく、物質を運ぶ重要な役割を持っています。

Zooplankton feed directly or indirectly off of phytoplankton and continue their life of drifting in the ocean. Because they are a member in the plankton family, they do not have the capacity to move on their own, but many spend the day time in the depths, then float closer to the water's surface at night. By transitioning between these zones, they are able to gain more food. This transition is known as " diel vertical migration " (DVM) Due to this diurnal vertical migration, substances on the surface layer of the water is brought down into deeper layers; this is known as a "biological pump." Zooplankton are not merely an important part of the food chain, but also play an important role in carrying food to other areas of the sea.



日周鉛直移動の模式図
Patterns of zooplankton DVM.

プランクトンネット
Plankton Net

プランクトンの採集は、プランクトンネットと呼ばれる大きな網を使って行う場合がほとんどです。プランクトンネットによる採集方法は、海面を水平に曳く水平曳きと、海底付近まで沈めて引き揚げる鉛直曳きがあります。プランクトンネットの後方には、採集物を集めるエンドコックがあります。

Collection of plankton is done by using a large net called a plankton net. Collection of plankton is done either by pulling the net through the water either horizontally, which catches plankton on the surface, or vertically, which catches plankton that are deeper in the water. At the back end of the plankton net is an end cock, which gathers the collected plankton.

鉛直曳きで使われる閉鎖式北太平標準プランクトンネット。下に錘をつけて目的の水深まで沈めます。

The closing North Pacific Standard Net (NORPAC Net)
A weight is placed on the bottom end and the net is lowered to desired depth.

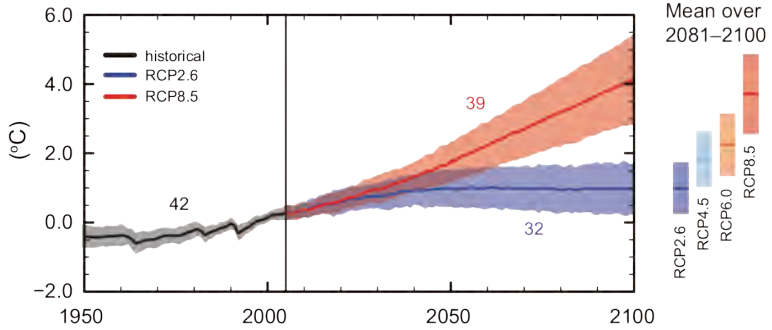
(蘭越町貝の館所蔵: 北海道大学プランクトン教室寄贈)

(Collection of Shellfish Museum of Rankoshi: Presented by Hokkaido University Plankton Laboratory)

地球温暖化問題
Global Climate Change Issues

近年の地球温暖化は、人為起源の二酸化炭素が大きく係わっていると言われています。二酸化炭素の排出について、何も対策をしなかった場合、2100 年の地球は、現在より +4.8℃気温上昇すると言われています。最大限に対策した場合でも +1.7℃の上昇が見込まれています。このような状況で、変化する環境に適応する「適応策」が重要と言われています。

In recent years it is believed that climate change is greatly influenced by anthropogenic-derived CO_2. It is said that if we do nothing to counter CO_2 measures, the temperature of the earth will rise +4.8℃ by the year 2100. The temperature is expected to rise +1.7℃ even if extreme measures are taken. For this reason, it is believed that formulating "adaptation measures" is essential for dealing with climate change.

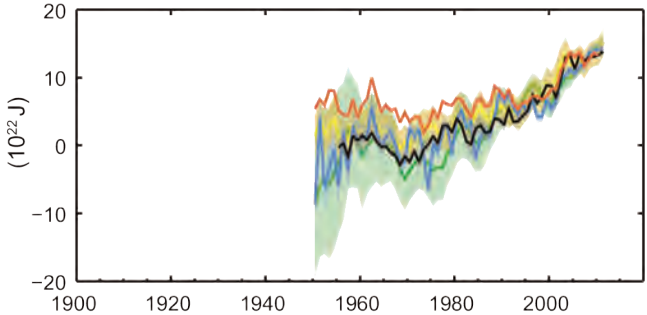


出典: 図IPCC AR5 WGI SPM Fig. SPM7(a)

何も努力しなかった場合 (RCP8.5) と、最大限の努力をした場合 (RCP2.6) の地球平均温度のシミュレーション

Simulation showing the difference between the Earth's average temperature when extreme measures were taken (RCP2.6), and when measures were not taken (RCP8.5).

海洋温暖化問題
Ocean Warming Issues



出典: 図IPCC AR5 WGI SPM Fig. SPM3(c)

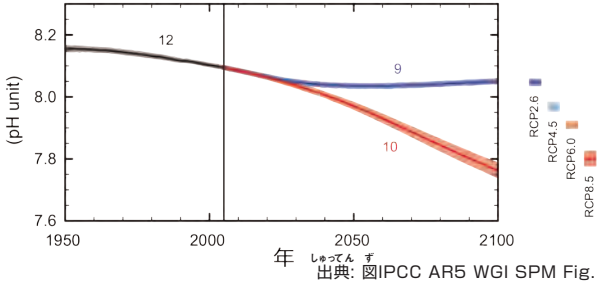
海洋の海水温の変化。線の違いは観測データの違い。

Changes in sea water temperature. The difference in the line indicates the difference in collected data.

大気に蓄積された熱エネルギーは、海洋に吸収されていることは言うまでもなく、1971 年から 2010 年までに蓄積された熱エネルギーは、全体の 90%を占める。すなわち、ここ約 50 年の間に、急激な大気から海洋へ熱エネルギーの吸収があり、このことが、大気の気候変動の変化を緩やかにしている１つの要因である。海洋は、大気の温暖化の急激な変化を抑制するが、海洋生態系へ大きな影響を与える。

It goes without mentioning that heat energy builds up in the atmosphere and is absorbed into the ocean, and the amount of heat energy which has accumulated between 1971 and 2010 covers approximately 90%. This means that over the past 50 years, heat energy has drastically been absorbed from the atmosphere into the ocean. This is one factor that is influencing or reducing the changes that take place in the climate. Though the ocean does contribute to the reduction of change in atmospheric warming, it has a great impact on marine ecology.

海洋酸性化問題
Ocean Acidification (OA) Issues

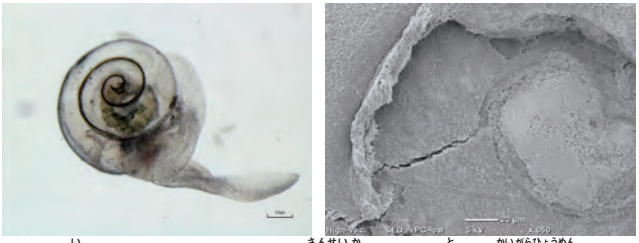


出典: 図IPCC AR5 WGI SPM Fig. SPM7(c)

海洋酸性化のRCP8.5とRCP2.6のシミュレーション
Simulation showing ocean acidification (OA) of RCP8.5 and RCP2.6

二酸化炭素は、大気から海洋へ溶け込みます。現在の海洋の pH は約 8.1 程度ですが、シミュレーションによっては、2100 年には pH7.8 を下回ります。そのような環境になると、様々な海洋生物へ悪影響を及ぼすと言われています。

Carbon dioxide (CO_2) in the atmosphere dissolves into the ocean. The current pH of the sea water is about 8.1, however according to the simulations that are carried out, by the year 2100, the pH will be less than pH7.8. This type of environment will have adverse effects on various marine life.



生きたミジンウキマイマイと酸性化によって溶けた貝殻表面
Live *limacina helicina* and the surface structure of the shell that melted due to OA.

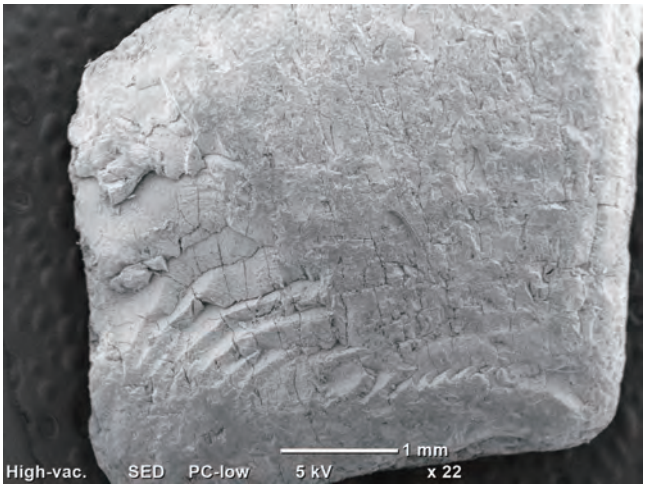
海洋ゴミ問題
Marine Waste Issues

陸から海洋へ年間約 800 万トンのゴミが流出し、海洋ゴミとなっています。海洋ゴミのうち、プラスチックは分解されない性質があり、太陽からの紫外線や波との摩擦により細かくなります。直径が 5mm 以下に砕けたプラスチックは、マイクロプラスチックと呼ばれています。マイクロプラスチックの表面は、凹凸が多く、ここに有害な化学物質が付着することが知られています。これを誤食した海洋生物によって、海洋生態系で生物濃縮されます。やがて、人が食べる魚介類が汚染されます。海洋ゴミ問題は、深刻な問題です。この問題を解決するには、どのようなアクションを起こせば良いのか、考えてみましょう。

Each year, approximately 8 million tons of waste and debris from the land ends up in the ocean. Of this waste, plastics which do not biodegrade, are reduced and pulverized by the UV rays of the sun, and friction from the sea. Such plastic debris that has been reduced to less than 5 mm in diameter is referred to as microplastics. Such microplastics have numerous convex and concave areas where toxic chemical substances can attach. Bioconcentration in marine ecology is increased when marine life accidentally consumes such microplastics. This eventually leads to contamination of seafood that humans consume. The issue of marine waste is a very serious one. Let's ponder the various actions that could help to solve this problem.

海岸に打ち上げられた海洋ゴミ
Marine Waste that is Washed Upon the Shores and Beaches

蘭越町近海の海岸に打ち上げられた海洋ゴミ
Marine waste that washed up on the beaches near Rankoshi.



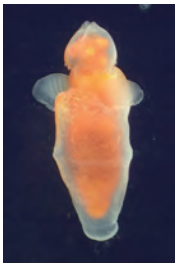
マイクロプラスチックの表面構造の走査型電子顕微鏡写真
Scanning electron microscopic photo of surface structure of microplastics.

海の天使クリオネ 絶滅の危機!?

Sea Angel of the *Clione* a Risk for Endangerment?!

ハダカカメガイ
Clione elegantissima

ダイオウハダカカメガイ
Clione limacina



ダルマハダカカメガイ
Clione okhotensis

ナンキョクハダカカメガイ
Clione antarctica

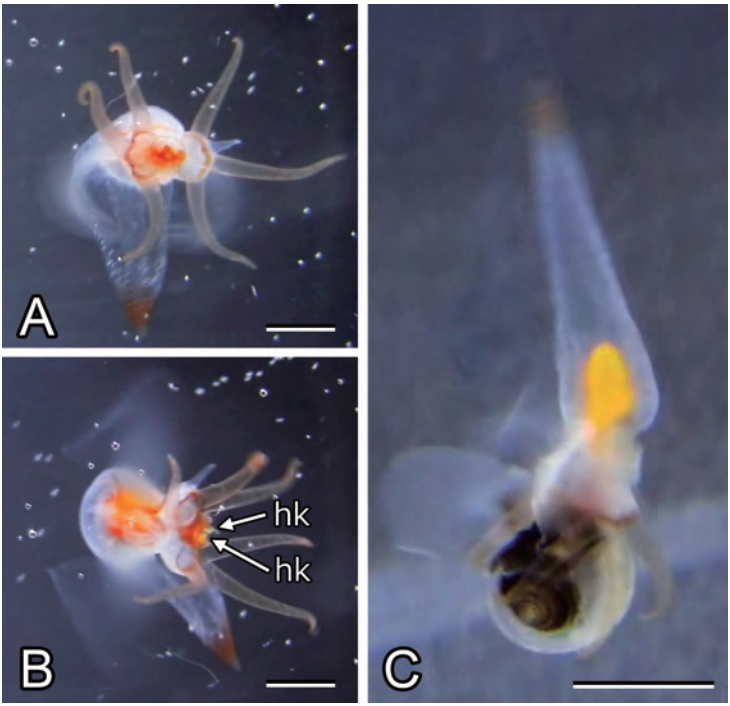
クリオネの仲間は世界に４種生息しています。巻貝の一種で、浮遊生活を送るのでプランクトンに区別されます。餌を食べるときは、バッカルコーン と呼ばれる触手を出し、ミジンウキマイマイを食べます。しかしながら、餌の貝殻はとても壊れやすく、海洋酸性化が進めば、溶けてしまい、生きられないことが懸念されています。餌を失ったクリオネは絶滅します。クリオネを守るには、どうすば良いか考えてみましょう。

There are four species of *Clione* in the world. A member of sea snail (Gastropoda), they are categorized as plankton due to their life of drifting. When feeding, the *Clione* use tentacles called buccal cones to consume *Limacina helicina*. However, the shell on the prey is easily damaged, and if marine acidification progresses, it will dissolve altogether, and they will not be able to survive. *Clione* that have no food will become extinct. Let's think about how we can protect the *Clione*.

※ダイオウハダカカメガイの写真は、海洋研究開発機構木元克典博士提供

*The photos of the *Clione limacina* are provided by Ph.D Kimoto Katsunori from the JAMSTEC.

ハダカカメガイの捕食行動
Predatory Behavior of *Clione*



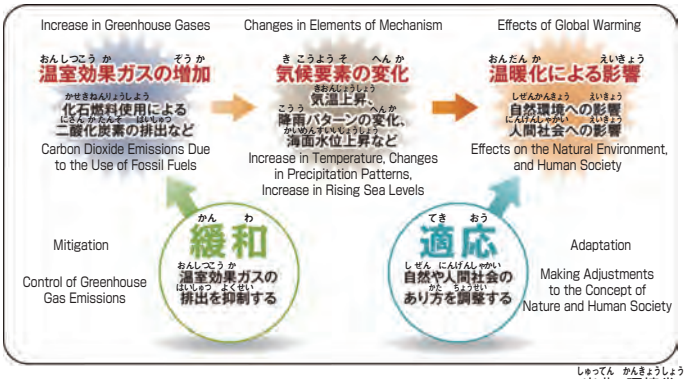
出典: Yamazaki & Kuwahara (2017) より

ハダカカメガイは、バッカルコーンと呼ばれる触手でミジンウキマイマイを掴んで、ホック (写真中の hk) と呼ばれる硬い組織で、巻貝の中身を引っかいて食べます。

Clione use their buccal cones (tentacles) to grab *Limacina helicina*, and use their hooks ('hk' in the photo) a hard structure, to scoop out the insides of the snail.

地球問題の緩和策と適応策

Mitigation and Adaptation Strategies for Climate Change

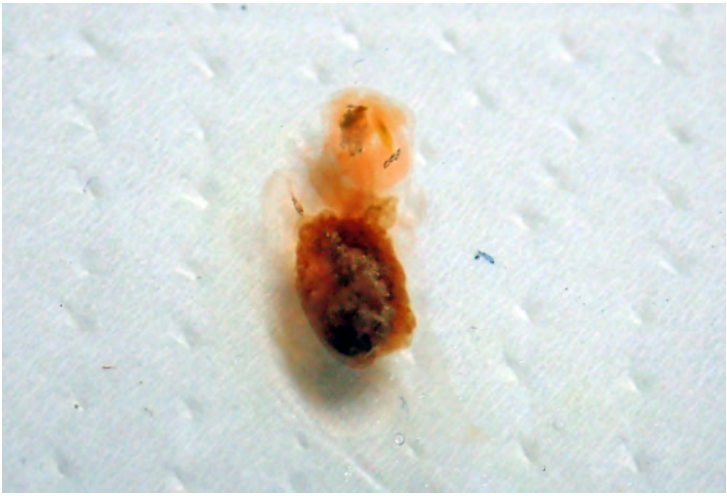


出典：環境省

様々な地球環境問題に対して、原因に対して対策する緩和策、環境問題に対して適応する適応策が挙げられます。図は地球温暖化問題に対する緩和策と適応策です。緩和策と適応策の思考は、地球温暖化だけではなく、様々な現象に対して有効です。例えば、海洋ゴミ問題に対しても有効です。これらの問題解決には、一人一人の問題に対する正しい知識、現象に対する正しいアクションが必要です。

Mitigation concerning measures to counter the source, and adaptation measures for adapting to environmental issues are considered in regards to global environmental issues. Ideas concerning mitigation and adaptation measures are effective not merely for dealing with global warming, but for many other phenomena present. For example, it is effective when considering necessary actions pertaining to marine waste. It is essential that each and every one of us has a clear understanding of the issues, as well as what the proper action to take is, in order to solve such issues.

樹脂標本キットについて
Resin Specimen Learning Kit



北海道周辺で見られる海洋生物を樹脂封入しました。それぞれの生物は、食う・食われるの関係にあります。5 ページにある海洋生態系ピラミッドを参考に、それぞれの樹脂標本を並べてみよう。

We have encapsulated marine life seen around Hokkaido in a resin. Each marine organism is organized according to "being fed," and "feeding." Use the Marine Ecology Pyramid on page 5 to align the resin specimens.

本書の作成にあたりお世話になった方

・プランクトンネットの提供
北海道大学大学院プランクトン教室　准教授　山口 篤
・動物プランクトンの写真提供
北海道大学大学院プランクトン教室　助教　松野 孝平
・ダイオウハダカカメガイの写真提供
海洋研究開発機構　木元 克典　博士

これらの方々には謝辞の意を示します。

People who contributed to the making of this book
Plankton net provided by: Yamaguchi Atsushi, Associate professor of Hokkaido University Graduate School Plankton Laboratory
Photos of zooplankton provided by: Matsuno Kohei, Teaching assistant of the Hokkaido University Graduate School Plankton Laboratory
Photos of clione limacina: Kimoto Katsunori, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)
We would like to acknowledge and extend our gratitude to these people for their contribution

海の学びプランクトンから学ぶ地球科学
樹脂標本学習キット
Resin Specimen Learning Kit - Learn
Earth Science from Plankton

著　者：山崎 友資	Author: Ph.D. Yamazaki Tomoyasu
発　行：蘭越町貝の館	Publication: Shellfish Museum of Rankoshi
発行日：2020 年 5 月	Publication Date: May, 2020
発行部数：2,000 部	2,000 copies

本冊子は、海の学びミュージアムサポート (日本財団助成事業) の助成を受けて発行しました。
This book received a grant from Uminimanabi Museum Support Fund (Nippon Foundation) was published.

切手になったプランクトン
Plankton that Became a Postage Stamp

1996年発行
オホーツク海のクリオネ（日本）

Issued in 1996
Sea angel *Clione elegantissima* in the Okhotsk Sea (Japan)

無料配布
FREE