地球温暖化と沿岸生態系の変化

北海道区水産研究所　高次生産研究室
飯泉　仁

はじめに

地球温暖化は人間活動由来の物質、炭酸ガスなどによって引き起こされる全地球的な気候変化です。直接的には大気中の温暖化ガスの増加によって、熱収支のバランスが変化し、地表の温度の上昇や気候変動が起きると考えられています。この全地球規模の変動が原因となる、海洋域の変化、森林域の変化など様々な影響が予想されていますが、私達の身近な沿岸でどのような影響があるか考えてみたいと思います。温暖化がどの程度与しているか不明ですが、釧路地方でも環境変動が観測されています（図．P86)。

どうして沿岸生態系を注目しなければならないのでしょう。国民の多くは海沿いの地域に住んでいて、沿岸域は様々な機能を通して社会と結びついています。沿岸域は、魚釣りや海水浴などのレクリエーションの場、磯や渡り鳥が活動する干潟など身近に自然に接することのできる場、としてアメニティ機能を持っています。また、魚が産卵・成長・回遊したり、海藻や魚達を養殖するなど生物生産機能としての役割も果たしています。私達は、「豊かな海」のイメージとしてひとつは、このように生き物達が豊かな沿岸を思い浮かべていると思います。また、沿岸域には豊かさを自ら維持する機能＝環境保全機能があります。これら複数の機能を支えているのが、沿岸の生物群集が中心になって作り上げている生態系なのです。

沿岸域は陸と海とに挟まれ、両方から多様な影響を受けていますが、このサンドイッチ状態が豊かな生態系を支えていると考えられています。多様な影響、多様な環境が多様な生物群集を育んでいます。これはまた同時に、沿岸生態系が外部の影響を非常に敏感に受ける理由にもなります。地球温暖化が沿岸に与える影響を予測するには、沿岸生態系を巡る複雑な因果関係を解きあかす必要があります。

過去における沿岸の変動

＜貝塚に見る水温変動＞　将来を予測する手段として、過去の変動の調査から推定する場合があります。その例を見てみましょう。釧路周辺の貝塚から、ホタテ・カキ・アサリと並んで、今では北海道南部より南に生息するアカガイや東北以南に生息するシオフキが見つかっています。貝化石の情報も合わせると、縄文海進と言われる海面上昇が最大の頃（約7000．5000年前)、釧路湿原は海に覆われ、釧路湾の水温は現在より約５℃高い青森県大湊湾と同じと考えられています。また、貝塚にサケの骨もあることから、当時でもサケが回遊していたことが分かります。現在サケは太平洋側では千葉県銚子まで、日本海側では石川県手取川まで回遊していることが知られています。現在の海水温の分布から判断すると、海水温が平均５℃上昇した場合、サケの南限は津軽海峡の辺りになると予想されます。つまり、北海道はサケの南限になるわけです。釧路の貝塚にはブリやスズキの骨も見つかっていて、当時は暖海性の魚も生息していたと推定されます。海水温が上昇することによって、釧路周辺の魚介類の種類や現存量が大きく変わることが、過去の変動の研究から検証

されています。

＜磯焼け＞　地球温暖化と直接関係はありませんが、環境の長期変動が沿岸生態系に与えた影響の例として、磯焼けを取り上げたいと思います。北海道日本海沿岸はコンブ漁場として古くから知られています。しかし、1940年代から漁獲量が大きく減少しました。コンブが無くなった浅海では、無節石灰藻が繁茂し、ちょうど山火事で木が焼き払われ裸地になってしまったような景観を示します。そのよう状態がいまでも継続しています。磯焼け海域にはウニ類が多く生息していますが、コンブなど栄養分の多い餌が少ないので捕っても商売になりません。

地元では「冬の水温が低いとコンブの成長がよい」とよく言われます。私達がコンブ漁獲統計と沿岸水温のデータを細かく解析して分かったことは、冬から春先、とくに４月の水温が低いとコンブ漁獲量が大きくなるという相関でした。また、室内実験から、コンブ自体は温度が低いと生長が早いこと、海藻類を食べる植食動物＝ウニは温度が低いと餌を食べる活動が鈍くなることを明らかにしました。もし、冬から春先のコンブがまだ小さい時期に水温が高いと、コンブの生長が遅くなる上に、ウニに食われてしまい夏のコンブ群落が見られないことになります。水温が低いと逆のことが起きると考えられます。このように、10年より短い周期のコンブ漁獲量の変動は水温変動から説明できました。

しかし、10年より長い周期の変動には、水温との相関だけでは説明できない変動成分があります。10年周期以上の長期変動に、今度は２．４月の平均風速との相関が見られました。コンブ漁獲量が減った1930年代以降、冬の平均風速が下がっています。私達は風速とコンブ漁獲量とを結び付けるのは、やはり植食動物、ウニだと考えています。つまり、冬から春先のコンブが生長を始める時期に、風によって沿岸の波が強くなると、海中のウニは餌を食べられないのです。人工波動を起こす装置を使って、波動が大きいとウニが基質に固着できないで、狭い隙間に潜り込むことが確かめられています。

水温と風速の二つの環境因子でコンブ漁獲量の長期変動はうまく説明できました。生物（コンブ）にとって重要な時期の環境が、少し（水温が１度、あるいは風速が数m/s）違っただけで、沿岸生態系が大きく変わる可能性があるのです。

＜生態系の適応能力を超える変化＞　過去の気候変動の研究から、気候帯の移動に伴って木本植物の分布が移動したことが知られ、その移動速度は40～2000m／年と推定されています。しかし、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)によると、気温上昇（1990年から2100年で1.4～5.8℃）による気候帯の移動は、1500～5500m／年と見積もられ、木の種類によっては気候帯の移動についていけず、絶滅する種がでてくると考えられています。つまり、陸上の森林の組成が変わるだけではなく、その現存量が減少する可能性があるわけです。一方、沿岸の海藻・海草など海生植物は、ライフサイクルが早いので、分布が変わっても絶滅は起こりにくいと思われます。水温が５℃上昇すれば、先に述べたように、現在の東北北部にみられる海生植物が釧路周囲で見られるようになると考えられます。

＜海水面の上昇による沿岸の変化＞　IPCC によると、1990年から2100年の間で海水面が９～88cm上昇する予想されています。日本沿岸のほとんどは人工護岸されているので、海面上昇による浸水のおそれがある部分は護岸を補強するでしょう。しかし、対応が難しい

河口周辺は、海面上昇の影響が川上にまで進みます。道東域に見られる湿原は河口周辺に分布しているので、海水の進出で湿原が影響を受けると思われます。

河川の水質はその集水域に大きく影響を受けます。根釧原野を流れる支流の水質と集水域の利用形態を調べた結果、牛の頭数の多い支流の方が窒素が多いという傾向があることが分かっています。しかし、別寒辺牛川の窒素の変動をみると、厚岸町内の乳牛飼育頭数が増加しているにもかかわらず、大きな変動はありません。湿原や河畔林が浄化作用をしていると考えられます。湿原が減少する仮定すると、河川の水質の変動が大きくなると予想されます。

海底に生育している海藻は光を必要とします。海水は空気と違って光を通しにくく、水深が海藻の生育を大きく制限しています。道東ではコンブが生育する深度限界は4．5m ですが、海面上昇によって水深が深くなると光量が不足する藻場が出てきます。従って、これまであったコンブ藻場の分布が変わる可能性があります。コンブだけでなく、生物生産を基礎から支えている海草・海藻類が形成する藻場が変化すると、そこを生育場や隠れ家としている様々な動物にとっても、大きな影響が避けられないでしょう。

＜降雨量の変動の影響＞　沿岸生態系にとって陸からの窒素やリンなどの栄養塩類、有機物の供給は重要な役割を果たしています。それを担っているのが河川です。気温変動よりも正確さは低いですが、日本周辺では温暖化に伴って降雨量が増加し、大雨など異常気象の回数が増えると予想されています。私たちは厚岸周辺で河川調査を行っていますが、雨が降って河川流量が増えると栄養塩類や有機物の濃度が高くなる、という結果を得ました。陸域に貯蔵されていたものが雨によって押し流されたと考えてもいいでしょう。しかし、河川沿いに湿原が多いと、降雨の影響がかなり緩和されるという結果も出ています。降雨時に増水した場合、栄養塩、有機物などが沿岸に流れ込むと沖合に一気に運ばれてしまいます。沖合の植物プランクトンには栄養分が運ばれてくるので、好ましい状態でしょうが、岸近くの浅い場所にある藻場の海藻類にとっては、逆に濁りの発生や淡水の流入によってマイナスの効果になると考えられます。降雨量の増加・異常気象の増加は、陸域を通じて沿岸生態系にも大きな影響を与えると考えらます。

気候帯の移動の例を挙げましたが、それが起きるとすると河川流域の植生が変化します。気候が変われば、今は牧草地として利用されている地域の利用形態が変化するかもしれません。温暖化は自然現象の変動だけでなく、それにともなう社会の変動も引き起こすことを想定すると、集水域におけるこれらの変動によって、河川の水質等が変化する可能性もあります。

このように、温暖化に伴う変動は沿岸生態系に対して大きな影響を与える可能性があります。上に述べた例は単純な定性的なものです。気温・水温・水深・降雨以外にも、沿岸生態系に影響を及ぼす外的環境の変動が、温暖化によって引き起こされるかも知れません。温暖化の進行度合いによってそれらの影響の現れ方も異なり、多くに影響が相互に複雑に絡み合うので、沿岸生態系の変動を予測するのはさらに難しくなります。しかし、環境変動がこれまで起きたことのない早さで起きることはほぼ確かです。沿岸生態系が私たち社会にとって重要な意味を持つことを考えると、温暖化がどのよう影響を与えるか、沿岸生態系が周囲の環境とどのように関連しているか、ひとつひとつ解明していく努力が必要で

しょう。また、沿岸域や集水域の変化を注意深く観察することも、将来を予測するために大事なことと考えます。

Climate Change and the Changes in Coastal Ecosystems

Hitoshi Iizumi
Stock Productivity Section
Hokkaido National Fisheries Research Institute

INTRODUCTION

Change to the global climate due to human activities, causing an increase in atmospheric carbon dioxide, is termed climate Change. It is believed that the increase in the surface temperature of the earth and the changes in climate are caused by a change in the balance between incoming and outgoing thermal energy due to an increase in gases that cause warming of the atmosphere. This global change can be expected to cause various phenomena, such as changes in the sea/land interface and/or in the distribution of forests. We focus in this report on its effects on the easily accessible coastal zone. This report aims to describe observations on environmental changes in the Kushiro Area (Fig.P86), though the degree of impact by climate Change is unknown.

Why should we focus on the coastal ecosystem? Most people in Japan live in the coastal zone. The coastal zone is therefore closely linked to society due to its various uses. The coastal region has amenity function in some areas including recreation (for example fishing and sea bathing,) as well as providing places where people can connect with the nature of local seashores or tidal flat areas, that also support many migratory waterbirds during migration. The coastal zone also supports the reproduction of various organisms. It is, for example, where fishes lay their eggs, grow, or pass seasonally, and where people can cultivate fishes or seaweeds. Most people can imagine the abundance of life in the coastal zone when they hear the old phrase, "Rich Sea". Moreover, the coastal region has environment conservation function that maintains its own the richness. Ecosystems supporting a rich biodiversity also perform a multitude of functions.

The Coastal zone contains the interface of land and sea and is effected in numerous ways by both sides. It is this sandwich-like state that leads to the richness of the coastal zone ecosystem. The diverse influences of the diverse environment nurtures rich biodiversity. This however makes the coastal ecosystem extremely sensitive to external impacts. It is necessary for us to solve the complex cause - effect relationship surrounding coastal ecosystems to predict the impact of climate Change on the coastal zone.

HISTORICAL CHANGES IN THE COASTAL ZONE

<Temperature Change Indicated by Shell Mounds>

The future can be extrapolated from a survey of historical changes. Here is an example of that method. Together with specimens of a Scallop, oysters, and short-necked clams, and arc shells (species that now live to the south of southern Hokkaido) and SHIOFUKI *Marca veneriformis* (that now live to the south of Tohoku District) is found in shell mounds in Kushiro. Considering the information of fossil shellfish, from the so-called JOMON period when the sea level 7000 to 5000 years ago reached its maximum, it is believed that the present Kushiro Marsh was submerged under the sea, and that the temperature of Kushiro Bay was about 5 degrees C higher than now, equivalent to the present temperature of Oominato Bay in Aomori Prefecture, in the north of Honshu Island. Bones of salmons found in shell mounds also suggest the migration of salmons into the area during that era. At present, salmons are known to migrate down to Choshi in Chiba Prefecture on the Pacific coast and to Tedorigawa in Ishikawa Prefecture on the Japan Sea coast. Judging from the present temperature distribution, an increase in the average seawater temperature of about 5 degrees C would shift the southern limit of salmon migration to Tsugaru Canal in Aomori Prefecture. This means that Hokkaido was the southern limit of salmon migration in that era. We can also assume that there were fish species typical of warm seas in that region since there are bones of Yellow Tails and Perches in Kushiro shell mounds. We have evidence from research into historic conditions that the species and the population of fishes in the Kushiro area can change greatly in relation to an increase in the temperature of sea water.

<ISO YAKE (Coast Burn)>

Though not directly related to the global change, we would like to explain ISO YAKE(or translated literally into English as the `burning of the coast`), to help explain the impact of long-term changes in the coastal zone environment. Hokkaido of the Japan seaside has long been famous for its *Konbu* seaweed (Genus *Laminaria*) fisheries. However, this catch has declined significantly since the 1940s. The seabed of shallow seas lacking *Konbu* is taken over by seaweeds without nodes that take calcium bicarbonate. When the shore is covered by such seaweeds, it resembles bare ground burnt over by a forest fire, leading to the name `coast burn`. The coast still continues to show the state. There are sea urchin families in these areas of coast burn, but, since they are not so nutritious as seaweeds, people cannot get as much profit from them as for *Konbu* seaweed.

Local people say: "*Konbu* grows well when the temperature is low in winter." According to our detailed analysis of the statistical data on the relationship between *Konbu* products and coastal temperature, there is a correlation between high production and low temperatures of sea water in winter and spring, especially in April.

Experiments in the laboratory also clarified that *Konbu* seaweed grows faster in low temperatures, and that the foraging activity of plant eating animals that eat these seaweeds (i.e. the sea urchin family), becomes slower when the temperatures are low. This means that when the water temperature is above average from the winter through to early spring then the seaweeds do not grow well, and their growth rate is lowered. In addition they will be predated by sea urchins. Therefore, it becomes much more difficult to observe groups of *Konbu* seaweeds. Low water temperature results in the opposite. In this way, it is possible to explain the changes in *Konbu* seaweed products in relation to changes in water temperature over a period less than ten years.

However, we found evidence of changes over periods longer than ten years that cannot be explained simply as a product of changes in water temperature. A correlation was found between long-term changes over ten years and the average wind velocity experienced from February through April. We suspect that *Konbu* eating sea urchins provide the link between wind velocity and *Konbu* production. This is because strong winds during the *Konbu* growing phase cause high waves, preventing sea urchins from foraging. An experiment with wave generating equipment proved that high waves prevent urchins from attaching themselves efficiently to surfaces where they can feed. The interrelation of water temperature and wind velocity explains well the long term changes in *Konbu* seaweed production. A small change in one of the environmental elements (e.g. a change of one degree centigrade in water temperature or several m/s change of wind velocity) at an important part of an organism's life cycle (such as that of *Konbu)* might cause a drastic change in the coastal ecosystem.

<Change Exceeding The Adaptability of The Ecosystem>

It is known from research on past climate change that the distribution of woody plants shifts in tandem with the shift of climatic zones. The rate of change is estimated at 40 to 2 000 m/year. However, according to the International Panel on Climate Change (IPCC), it is estimated that the shift in climatic zones due to temperature rises, between forecast at between 1.4 to 5.8 degrees C, will be 1 500 to 5 500 m/year. It is therefore considered that some species of trees might not be able to adjust to such changes in the climate, and will be extinguished. This means that there is a possibility not only of a change in the composition of forests, but also in the total area that such forests cover. On the other hand, the extinction of marine plants (such as seaweeds and sea grasses) is thought likely to occur, despite changes in their distribution, as their life cycle is relatively short. With an increase in temperature of 5 degrees C, marine plants presently growing in the northern part of Tohoku region would then be found near Kushiro, further north.

<Change in the Coastal Zone due to a Rise in Sea Level>

According to the IPCC, it is estimated that the sea level will rise between 9 and 88 cm between 1990 and 2100. Since most of the coastal zone in Japan is artificially protected, and most of these coastlines are threatened by submersion there is a need to further reinforce such areas to prevent flooding. However, river mouths will not be so easy to reinforce. Accordingly, sea level rise will affect further upstream than at present. Wetlands located in the eastern part of Hokkaido will likely be effected by the sea's rise.

The water quality of rivers is largely effected by the condition of the catchment area. The result of a survey of the correlation between the water quality of tributaries flowing into Kushiro Marsh and the utilization of the catchment area showed higher total nitrogen values in tributary areas that supported a larger number of cows. However, the deviation in the value of total nitrogen in the Bekanbeushi River is not necessarily related to in the number of cows raised in Akkeshi Town. This rather suggests that wetlands and riverside forests perform a cleaning function. Assuming that the area of wetland decreases, the water quality of rivers is expected to decline further.

Seaweeds that grow on the sea-bottom require light. Seawater, unlike air, is not so transparent as light, thus limiting the growth of seaweeds. In the eastern region of Hokkaido, *Konbu* grows down to a maximum depth of 4 - 5 meters. When the depth of the bed increases due to a rise in sea level, some of the present seaweed beds will not have enough light to allow the growth of *Konbu*. The present *Konbu* beds might be lost due to the anticipated change in distribution. The change of distribution will not be restricted to *Konbu*, but also to sea grass beds and other seaweed species that support biological production. A change in their distribution will greatly impact the various animals supported by them.

<Impact of Change in Precipitation>
The provision of nutrients such as nitrogen, phosphorous or organic materials from the land plays an important role on coastal ecosystems, with rivers playing the major role. It is expected that with climate Change Japan will experience increased precipitation and there will be frequent cases of unpredictable meteorological events, although these are less possible than global climate change itself. From our riparian survey around the Akkeshi area, we concluded that as the flow of the river increases due to precipitation, the concentration of nutrients and organic substances increases. It is possible that the rain washed away land-derived substances into the river. However, there is also the possibility that the wetland along the river softens the impacts of precipitation. When the water level of a river increases with precipitation, nutrients or organic substances will flow into the coastal zone, and are thence carried away, offshore. This will be advantageous to phytoplankton living in the offshore zone, but

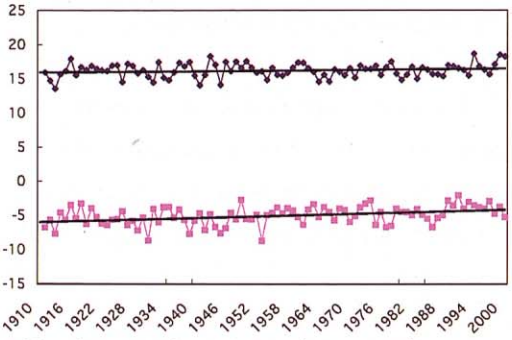
it will have a negative impact on seaweeds in seaweed beds in shallow waters near the coast. Thus, an increase in precipitation and/or meteorological abnormality would have a grave impact to the coastal ecosystem via land-derived impacts.

The shift of climate zones explained above, when it happens, will cause changes in the vegetation of riparian areas. If the climate changes, the utilization of the area that is now used as pasture might change. Considering the probable impacts of climate Change on society, the changes in the catchment area suggested above might well cause a change in riparian water quality.

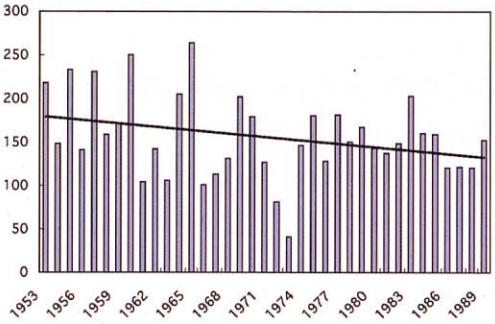
Thus, the changes that accompany global climate change might significantly impact the coastal ecosystem. The cases shown above are simple and qualitative. Moreover, climate Change might cause other changes in the external environment impacting coastal ecosystems besides temperature, water temperature, depth of water, or precipitation. The impacts will depend on the degree of climate Change. Many of the impacts will interact in a complex way. Thus, it becomes increasingly difficult to predict changes to the coastal ecosystem. However, it is almost certain that the change in environment will occur at hitherto unknown rates. Considering the very significant value of coastal ecosystems and the coastal zone to society, it appears necessary to make efforts to clarify, impact by impact, what kind of changes will be wrought by climate Change and the ways in which the coastal ecosystem is correlated to the surrounding environment. It is also very important to observe carefully changes in the coastal/catchment area to allow for better prediction of the future.

釧路における気候変動　（気象庁提供資料による）

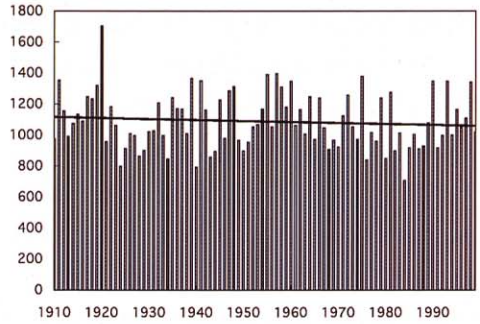
Climate changes at Kushiro　(After data by Japan Meteorological Agency)



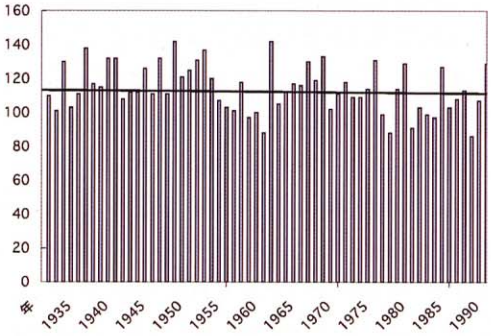
夏期（7ー9月）と冬期（12ー2月）の
平均気温の変動　1910ー2000　(℃)
Average temperature in summer (Jul to Sep)
and winter (Dec to Feb)



年間降雪量の変動　1953ー1990 (cm/year)
Annual snowfall

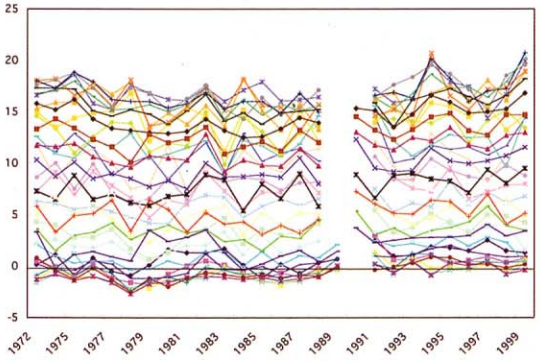


年間降雨量　1910ー1999　(mm/year)
Annual precipitation

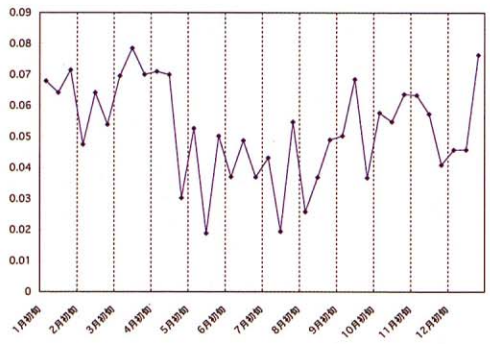


年間霧日数　1931ー1990 (day/year)
Annual fog

厚岸湾における水温　（北海道大学北方生物圏フィールド科学センター厚岸臨海実験所の資料による）Surface seawater temperature at Akkeshi (After data by AMBL)



旬別平均水温の年変動　1972ー1999　(℃)
Changes in 10-day avereage



同、年変動率　(℃/year)
Trends in SST in each period.

地球温暖化と湿地保全に関するワークショップ
International Workshop on Climate Change and Wetland Conservation
2001/10/20-21

地球温暖化と沿岸生態系の変化
― 北海道沿岸における変化の予想 ―
Global warming and coastal ecosystems in Hokkaido

北海道区水産研究所 高次生産研究室
飯泉 仁
Hokkaido National Fisheries Research Institute
Hitoshi Iizumi

温暖化の影響は...
Global warming will affect ...

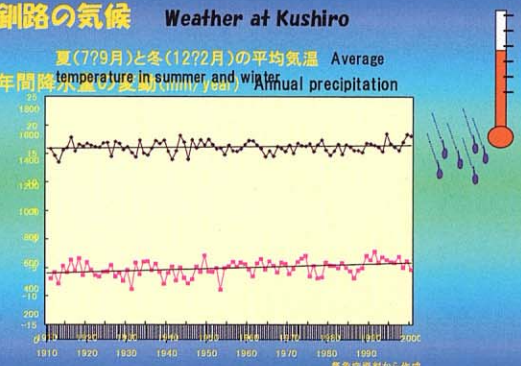
- 気温・水温
  air and water temperature
- 海面上昇
  sea-level rise
- 降雨
  precipitation
- 日照、異常天候
  solar radiation and extreme events
- 水質(河川、沿岸域)
  water quality in riverine and coastal waters
- その他 others

環境変動と沿岸生態系
Environmental change and coastal ecosystems

- 釧路の気象傾向
  Weather trends at Kushiro
- 磯やけ (沿岸生態系と水温変動)
  ISOYAKE : Coastal ecosystem & fishery and temperature fluctuation
- 釧路における過去の水温変動
  Past history of SST at Kushiro
- 海面上昇と沿岸藻場
  Sea-level rise and seaweeds beds
- 陸域と沿岸生態系
  Terrestrial environments and coastal ecosystems

釧路の気候 Weather at Kushiro

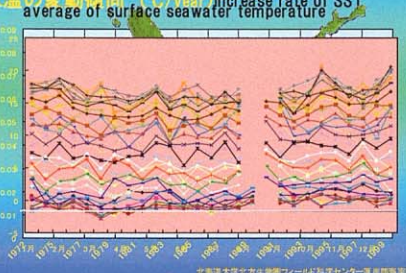
夏(7?9月)と冬(12?2月)の平均気温 Average temperature in summer and winter
年間降水量の変動(mm/year) Annual precipitation



気象庁資料から作成
Data by Japan Meteorological Agency

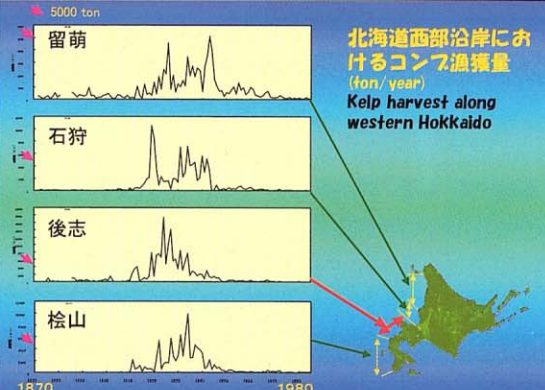
厚岸における表面水温の変化
Surface seawater temperature at Akkeshi

厚岸湾における旬平均水温 (℃) Ten-day average of surface seawater temperature
水温の長期傾向 (℃/year) Increase rate of SST

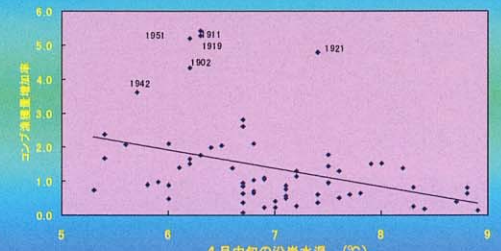


北海道大学北方生物圏フィールド科学センター厚岸臨海実験所 資料より
Data by Hokkaido University, Akkeshi Marine Biological Station

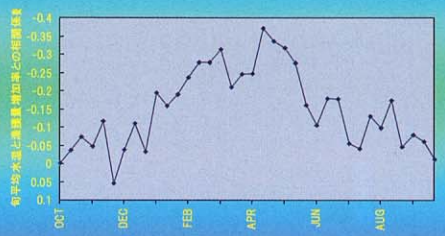
北海道西部沿岸におけるコンブ漁獲量
(ton/year)
Kelp harvest along western Hokkaido



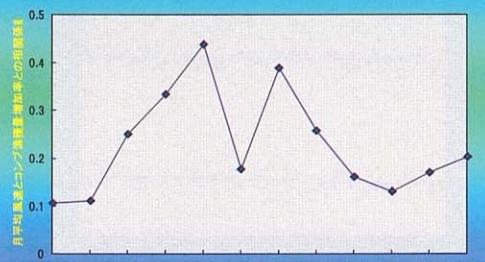
沿岸表面水温とコンブ漁獲量変動率との相関
Correlation between SST and year-to-year ratio of Kelp harvest



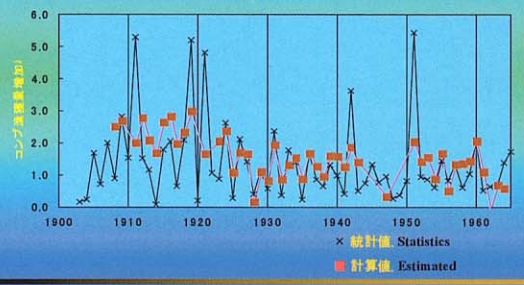
沿岸表面水温とコンブ漁獲量変動率との相関
Correlation between SST and year-to-year ratio of Kelp harvest



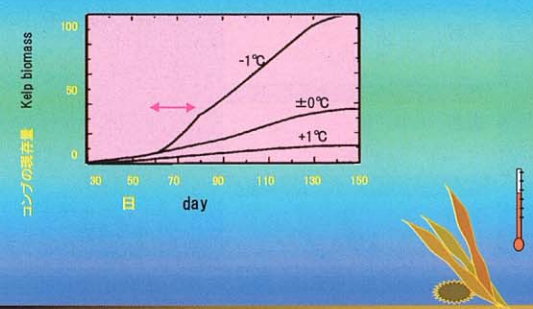
月平均風速とコンブ漁獲量変動率との相関
Correlation between monthly-averaged wind speed and year-to-year ratio of Kelp harvest



4月の平均表面水温と平均風速によるコンブ漁獲量変動率の重回帰
Multiple regression of year-to-year ratio of Kelp harvest by SST and wind speed in April



20日間(矢印)水温を1℃変化させた場合のコンブの量の変化（数値モデル）
Kelp biomass variation when water temperature is shifted by 1℃ for 20 days (arrow) (numeric model)



縄文海進と貝塚
Jomon sea level rise and shell mounds around Kushiro



釧路市博物館展示より Kushiro City Museum

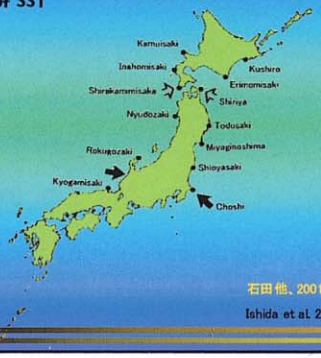


貝塚公園から City view

貝塚出土品（釧路市立博物館展示より）
Shell and fish remains from shell mounds at Kushiro
(Kushiro City Museum)



シロサケの南限　現在 ➡　5℃上昇したら ⇨
Southern limit of chum salmon at present and in case 5℃ increase of SST

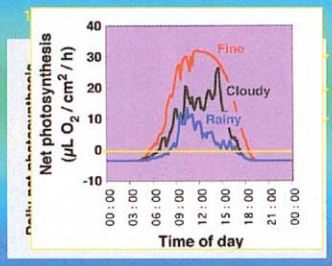


石田他、2001 より引用
Ishida et al. 2001

水中のコンブの光環境
Underwater irradiance at Kelp beds



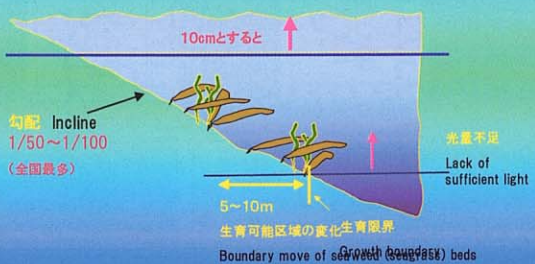
異なる天候下のコンブの光合成量
photosynthesis by Kelp on different weather conditions



晴れの日
曇りの日
雨の日

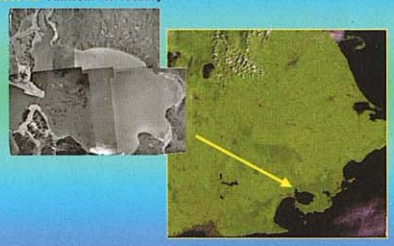
坂西　2001
Sakanishi 2001

水面上昇による藻場の光環境の変化
Light condition at sea level rise



厚岸湖の水質
Water quality in Akkeshi-Ko estuary

厚岸湖 Akkeshi-Ko estuary

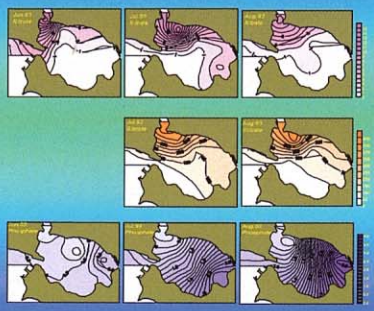


栄養塩 Nutrients

硝酸塩
Nitrate

ケイ酸塩
Silicate

リン酸塩
Phosphate



プランクトンの分布
Plankton at Akkeshi-Ko

植物プランクトン
Phytoplankton

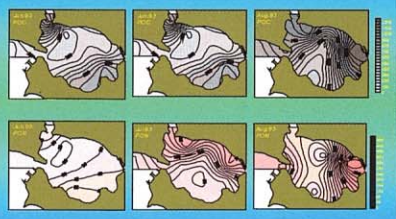
動物プランクトン
Zooplankton



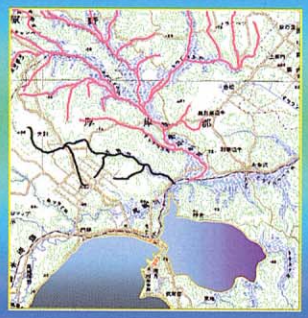
有機物の分布
Particulate organic matter

粒状有機炭素
POC

粒状有機窒素
PON



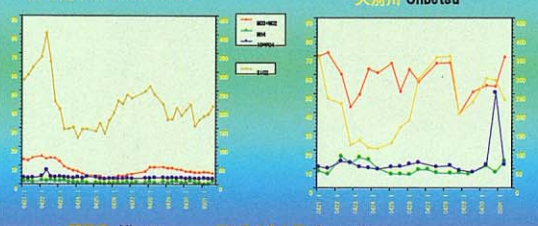
厚岸湖の陸水供給
Rivers flowing into Akkeshi-Ko estuary



降雨時の河川水質の変化（栄養塩類）
Water quality changes at rain events (nutrients)

別寒辺牛川 Bekanbeushi

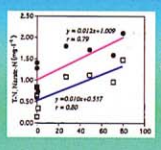
大別川 Ohbetsu



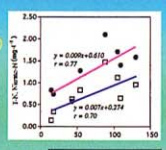
— 硝酸塩 Nitrate — アンモニウム塩 Ammonium
— リン酸塩 Phosphate — ケイ酸塩 Silicate

河川集水域利用形態と水質（全窒素、硝酸性窒素）
Landuse and water qualities (TN and nitrate N)

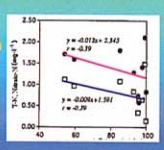
河畔改修率（%）
Reconstructed river bank



乳牛飼育数（#）
Cattle number



河畔に湿地・林がある割合（%）
Percentage of contact length of river with wetlands or woods



● 全窒素 Total nitrogen
□ 硝酸性窒素 Nitrate

井上他, 1999
Inoue et al. 1999


人為的に引き起こされる温暖化にともなう
沿岸生態系の変化
Human - induced global warming and coastal ecosystem changes
• これまで自然界では起きたことのない急激な変化
Rapid changes never experienced before
• 自然現象の変動予測
Estimation of natural environmental changes
• 人間活動を通した二次的影響の予測
Secondary effects induced by human acitivities
• 沿岸域を陸域も含めてシステムとみるモデル
Simulation models of coastal system including terrestial systems
• モニタリングの必要性
Monitor & Watch