

ヤマセと陸奥湾の相互作用に関する考察

川村宏(東北大院・理)

ヤマセの雲と陸奥湾

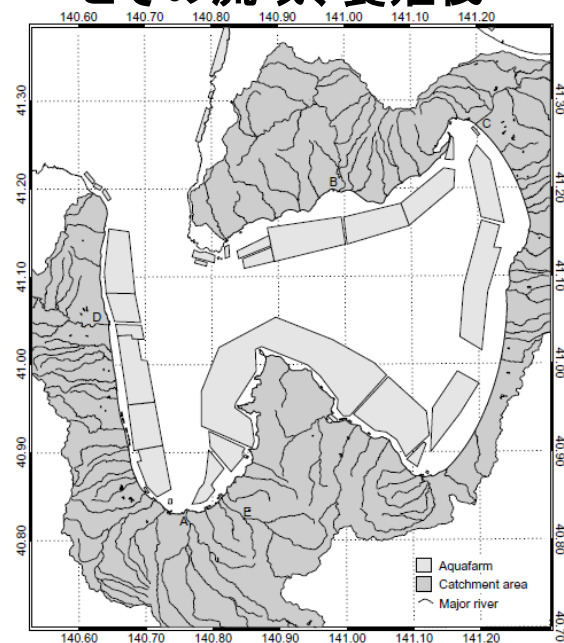


陸奥湾： 青森県の内湾、面積は1667.89km²(青森県の面積の17%)。流入河川は小さく、数は多く、流域はすべて青森県内。狭い平館海峡が津軽海峡と接続。

ヤマセ： 6月～7月、東北の太平洋側に吹く局地風。広大な海域から移流されてくる下層雲を伴った冷気流は、時に強く、長く吹いて稲作冷害の要因と成る。

陸奥湾の海陸風： 晴天・静穏な状況下、海陸風循環が発達。斜面上昇流は陸奥湾上で組織化され、下降流となって海面に向かう。

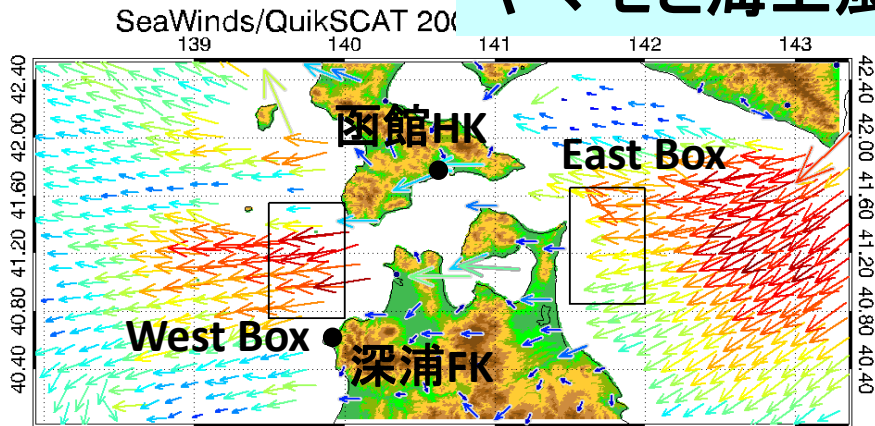
陸奥湾に流入する河川とその流域、養殖筏



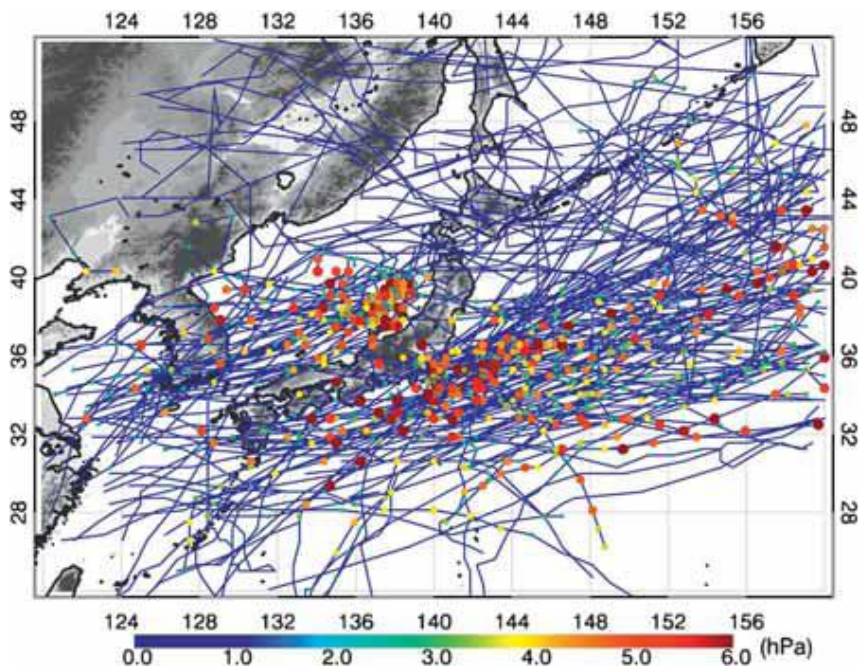
沿岸域大気・海洋・陸相互作用

- 石橋健一(1998): MUBEXデータに基づく衛星海表面温度の精度検証に関する研究、岩手大学大学院工学研究科、修士論文。
- 猪股 和也(2002): 熱赤外画像を利用した海面表皮層における温度勾配と環境変数の統計解析、岩手大学大学院工学研究科、修士論文。
- 川村宏(1992): 陸奥湾における昇温期の大気海洋相互作用について、月刊海洋、24(6)、385-388。
- 川村宏編(1995): ヤマセ、気象研究ノート、183、200pp
- 川端一之、植田真司、長谷川英尚、久松俊一、稲葉次郎(1999): 局地気象条件下での環境中物質の大気中移行挙動—六ヶ所村における海洋から陸上への海塩粒子の移行—、環境科学技術研究所年報、L3798A、16-18。
- 力石國男・佐々木有子(1990): ヤマセと海陸風、月刊海洋、22(7)、401-40。
- Ebuchi, N., H. Kawamura and Y. Toba (1987): Fine structure of laboratory wind-wave surfaces studied using an optical method, *Boundary-layer Meteorol.*, 39, 133-151.
- Kawai, Y. and H. Kawamura (2000): Study on a platform effect in the in situ Sea Surface Temperature Observations under weak wind and clear sky conditions using numerical models, *J. Atmos. and Oceanic Tech.*, 17, 185-196.7。
- Kawai, Y., K. Otsuka and H. Kawamura (2006): Study on diurnal sea surface warming and a local atmospheric circulation over Mutsu Bay, *J. Meteorol. Soc. Japan*, 84(4), 725-744.
- Kawamura, H. and Y. Toba (1988): Ordered motion in the turbulent boundary layer over wind waves, *J. Fluid Mech.*, 197, 105-138.
- Shimada, T., M. Sawada, W. Sha, and H. Kawamura (2010), Low-level easterly winds blowing through the Tsugaru Strait, Japan. Part I: Case study and statistical characteristics based on observations, *Monthly Weather. Review*, 138, 3806-3821.
- Shimada, T., M. Sawada, W. Sha, and H. Kawamura (2012), Low-level easterly winds blowing through the Tsugaru Strait, Japan. Part II: Numerical simulations of the event on 5-10 June 2003, *Monthly Weather. Review*, 140, 1779-1791.
- Smith, G.B., R. A. Handler, and N. Scott (2007): "Observations of the Structure of the Surface Temperature Field at an Air-Water Interface for Stable and Unstable Cases" in "Transport at the air-sea interface – Measurements, Models and Parameterizations" by Garbe, C.S., R.A. Handler and B. Jahne Eds., 205-222.
- Yamaguchi, S. and H. Kawamura (2004): Influence of orographically steered winds on Mutsu Bay surface currents, *J. Geophys. Res.*, 110(C9): Art. No. C09010.
- Yamaguchi, S. and H. Kawamura (2009): SAR-imaged spiral eddies in Mutsu Bay and their dynamic and kinematic models, *J. Oceanogr.*, 65(4), 525-539.
- Yokoyama, R., S. Tanba and T. Souma (1995): Sea surface effects on the sea surface temperature estimation by remote sensing, *INT. J. Remote Sensing*, 16(2), 227-238.

ヤマセと海上風

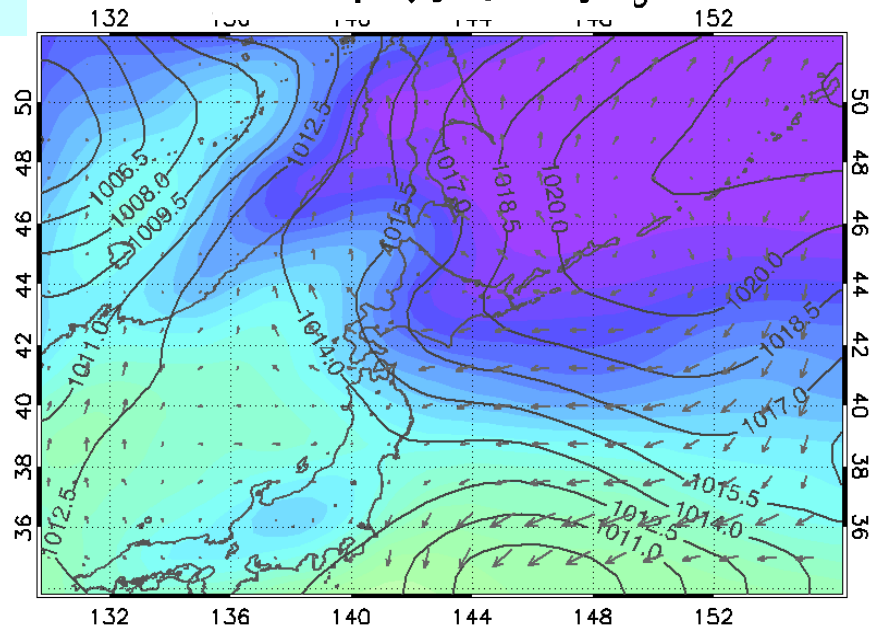


JRA-25と対応する散乱計海上風ベクトル



JRA-256時間毎再解析による2000-2008年6-7月のすべての低気圧の進路。進路上の点のカラーは、HK-FK間の気圧差を表す。

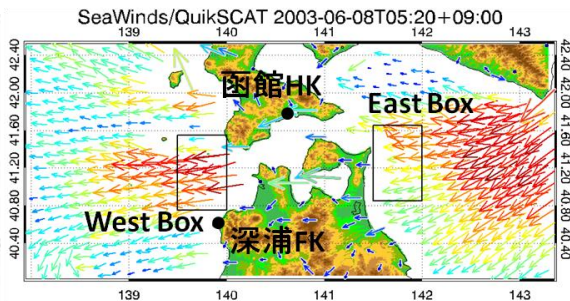
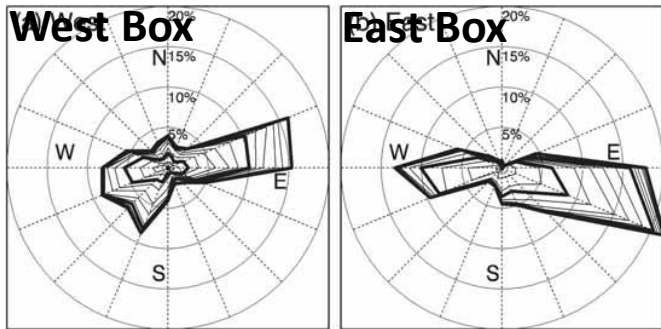
2003年6月8日3時



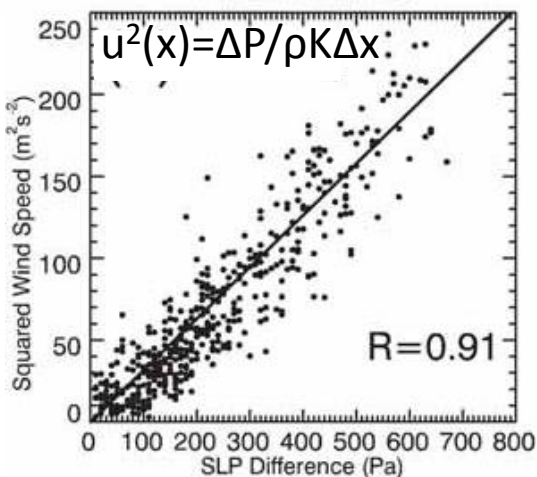
JRA-25の2m気温(色)、海面気圧、海上風

- 1) 客観解析により、ヤマセの原因と成る冷気流の移動が捉えられた
- 2) 本州東方に到達した冷気流(高気圧)は日本の東側-西側の気圧差を形成
- 3) オホーツク海で発達した高気圧と日本海上・日本南岸沿いに進む低気圧が、函館-深浦間の気圧差を拡大し、ヤマセ地峡風のトリガーとなる

2000-2008年6-7月の海上風配図



- 1) 海峡や地峡に沿って東西の海面気圧差が大きくなり、東よりの地表風(ヤマセ)が強く吹く
- 2) 高解像度数値シミュレーションによる強風域の細かな空間構造は、高解像度SAR海上風の観測とよく一致する

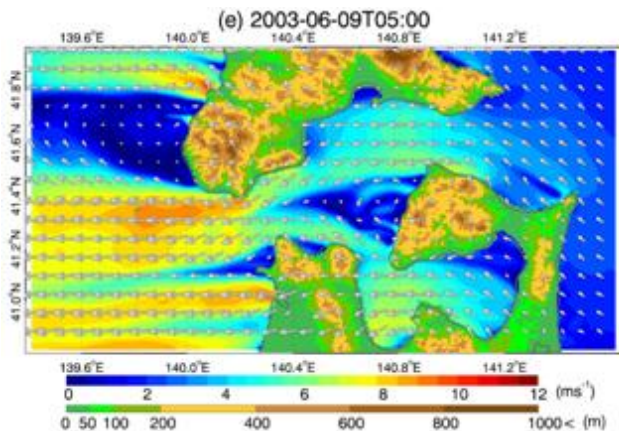


ヤマセ・モード

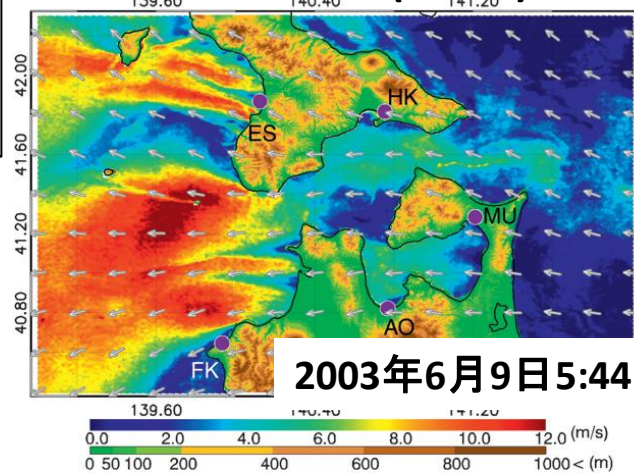
2000-2008年6-7月の東風時のWest海上風速二乗とHK-FK SLP差の相関

地峡風ヤマセ

ヤマセ地峡風のシミュレーション (気象庁GPV10km、6時間を2段階ネストし、数値気象モデルMM5 1km格子、33レベル使用)

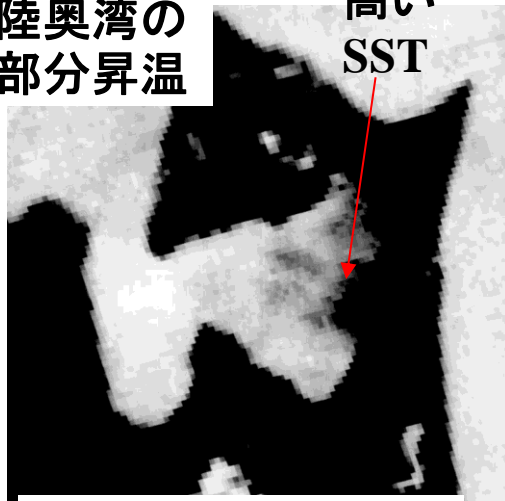


SARによる超高解像度海上風画像(100m)



陸奥湾の
部分昇温

高い
SST



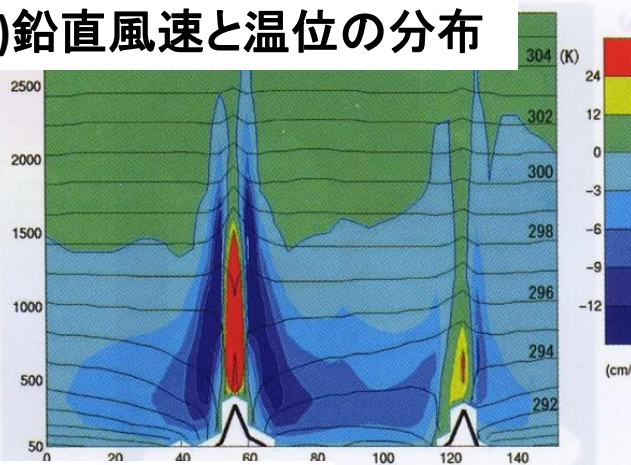
NOAA9 (AVHRR Ch4)
1987.5.7 13:50

日変動モード
(カ石・佐々木,1990の
非ヤマセ日に対応)

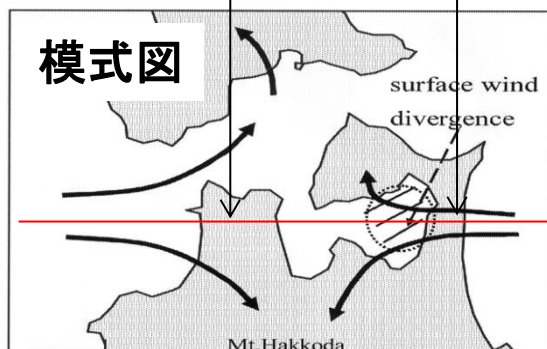
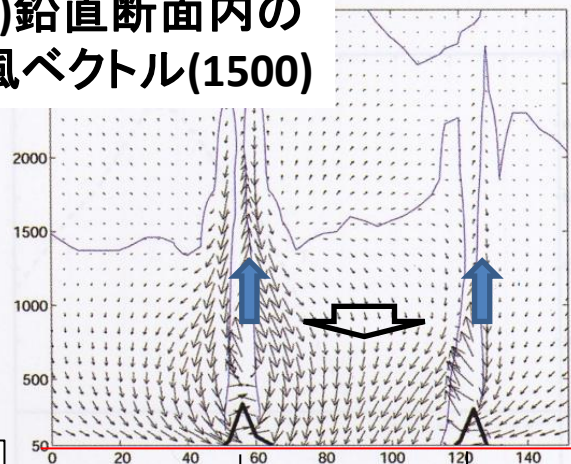
- 1) 陸奥湾とその周辺地域に固有の局地循環とSST日変動が存在
- 2) 気象観測、衛星SST観測、数値モデル結果はよく整合する

放射駆動数値モデル実験

a)鉛直風速と温位の分布

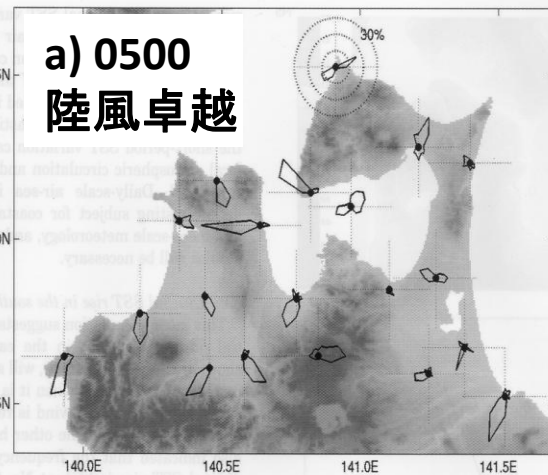


b)鉛直断面内の
風ベクトル(1500)

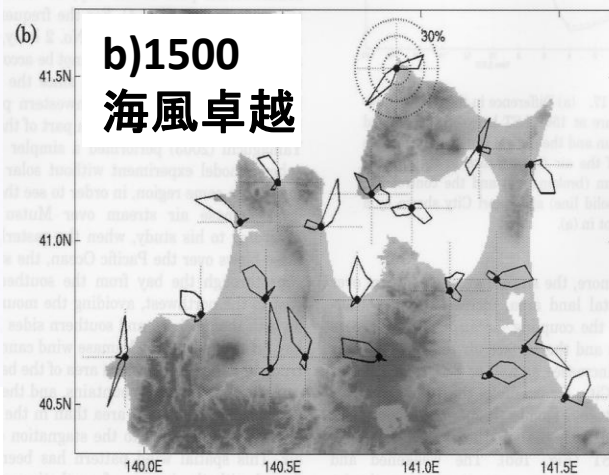


陸奥湾海面水温 日変動と局地循環

a) 0500
陸風卓越



b)1500
海風卓越



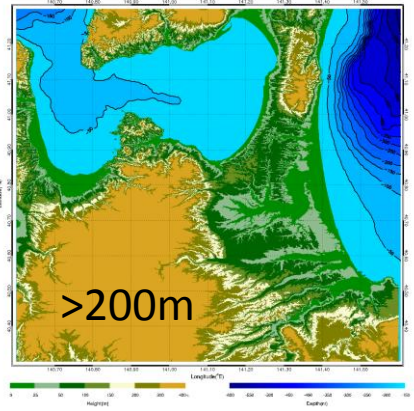
1995-2000年4-9月、陸奥湾中央ブイの Δ SST (日最高値 - 日最低値) が一度を越えたときの地表風配図

ヤマセ気流のはく離と海面渦度

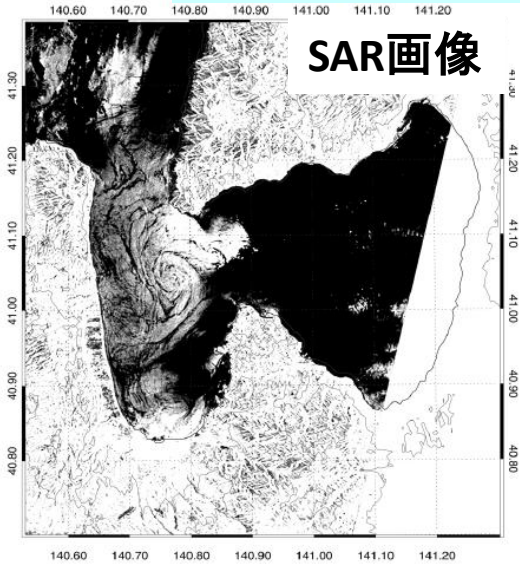
西湾のSpiral Eddyとスリック



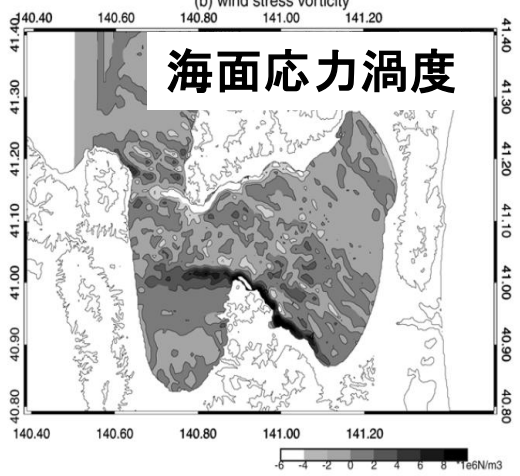
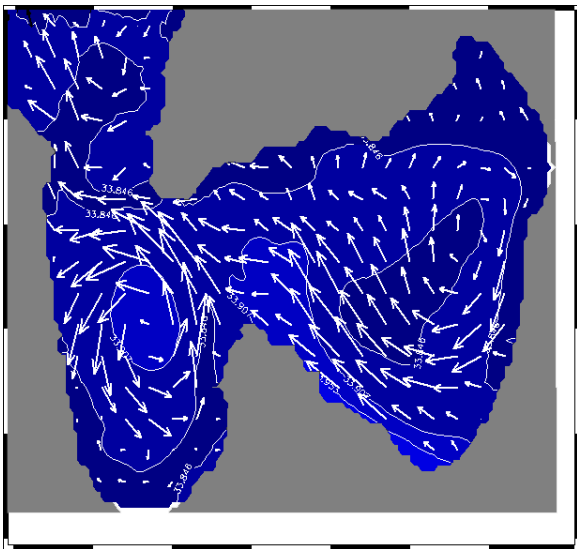
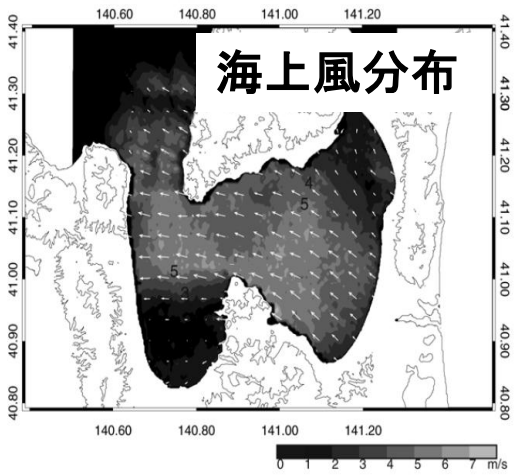
陸奥湾周辺の地形



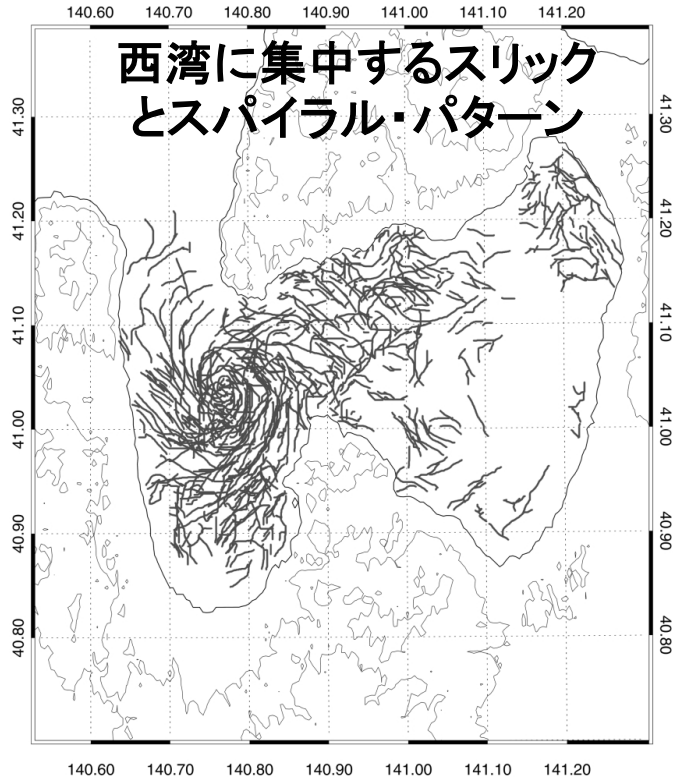
(a)



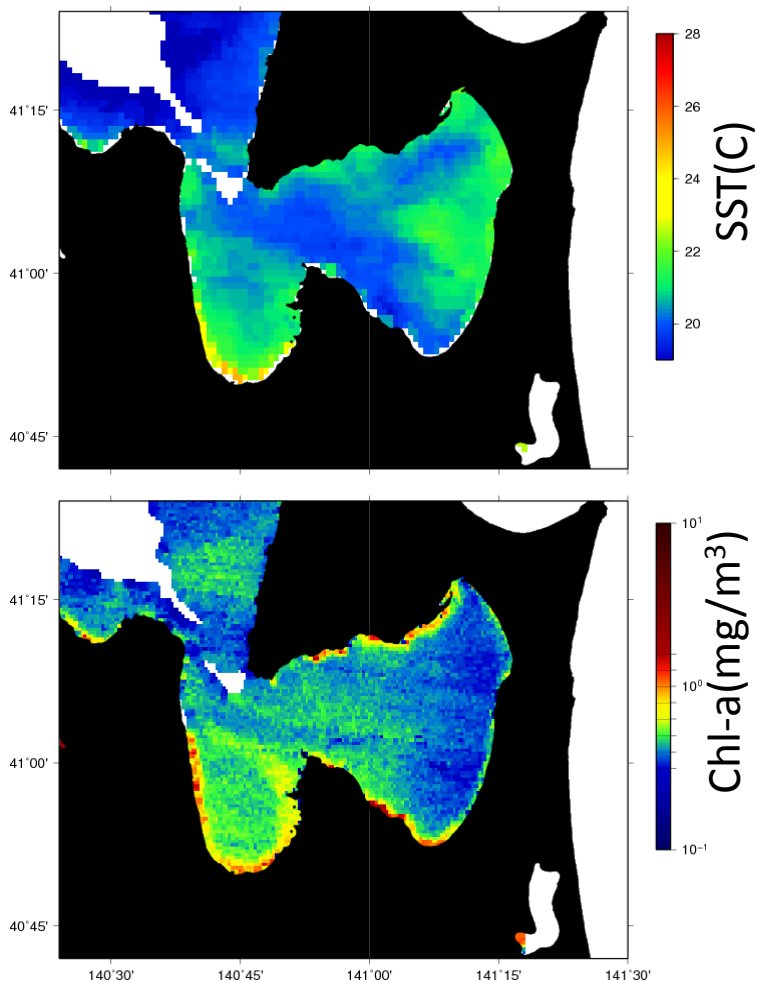
スリックの抽出



ヤマセ気流はく離に伴い、西湾に海面応力渦度が低気圧性循環を形成する(POMによる5日後の表層流)



2007年7月9日10:17のMODIS SST(上)とChl-a(下)画像



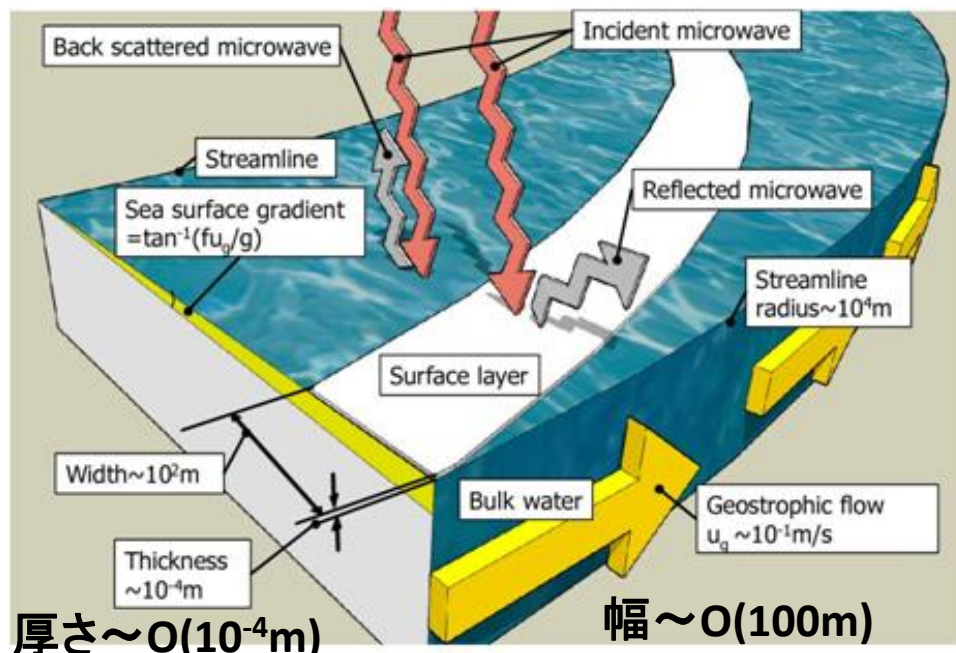
ヤマセ気流により、海面風応力渦度が西湾に発生

西湾のスピナップ

表層へ栄養塩供給
 > 生物活動の活発化・スリック生成

西湾に低気圧性循環が発生

西湾のスパイラル・エディ



厚さ ~ $O(10^{-4}m)$

幅 ~ $O(100m)$

海面マイクロレイヤーを駆動する低気圧性循環

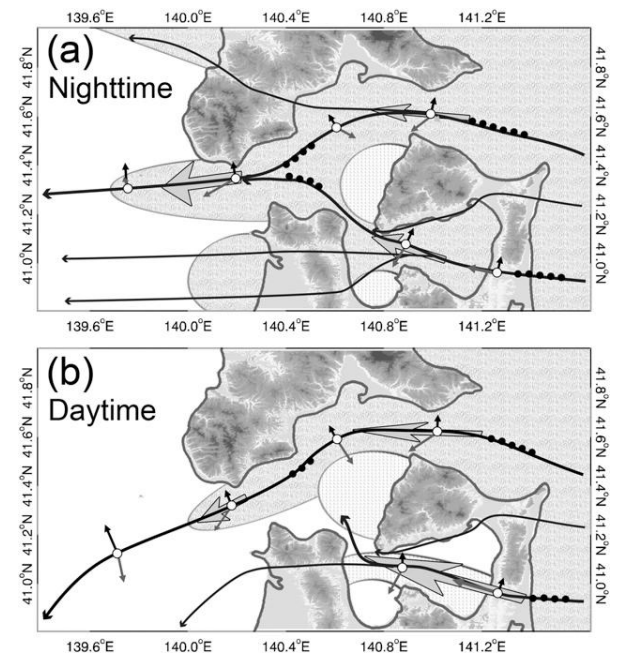
ヤマセ・イベントは7月3-5日に発生。ブイ観測により、表層混合促進が判明した。水温低下域はSARのヤマセ気流と対応。Chl-aパターンは、西湾の循環やスパイラル・エディと整合。

ヤマセと陸奥湾

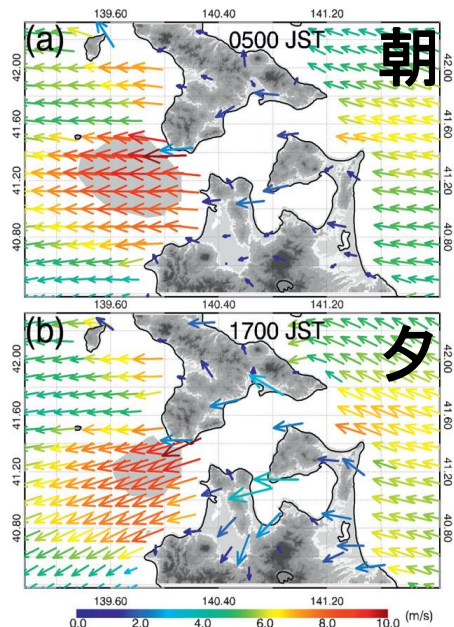
- 1) 下層雲や霧を伴った海洋性冷氣塊が陸奥湾周辺東部域を覆うと、東西気圧差が増大し、**陸奥湾**に**ヤマセ気流**が侵入する。(ヤマセ・モード)
- 2) **陸奥湾**周辺の局地循環には、**非ヤマセ・静穏時**の日変動モードと**ヤマセ・モード**がある。日変動モードのメカニズムは、地域に固有の海陸風循環である。
- 3) ヤマセ・モードと日変動モードが混合し、**ヤマセ気流**は日変動する。**陸奥湾**上で、ヤマセ風は日中に強化され、発散的な性質を持つ。(右図)
- 4) 南東から**陸奥湾**に侵入した**ヤマセ気流**が夏泊半島先端ではく離し、西湾に反時計回り海洋循環を形成し、生物活動を活発化させ、海洋表面の螺旋状スリックを出現させる。

捕捉: 外力条件(河川流量データセット、潮汐、外海水温・塩分、気象)を用いて、海洋数値モデルにより、ブイなどで観測された2010年の日々の陸奥湾の海況は、十分に再現された。(Personal Communication、吉田ら、2012)

近年、精力的に整備された観測システム(バルク・パラメータ観測)と数値モデルにより、陸奥湾とその周辺の大気・海洋変動を再現することが可能となった。



後方流跡線解析で得られた朝夕の気流経路の模式図



衛星観測による6-7月の朝夕の平均海上風。散乱計の観測による。

やませ研究会

東北大学 岩崎俊樹

いまさら何ができるのか？何をやらねばならないのか？

地域貢献を通じてグローバルな問題を考える

第一回ヤマセ研究会

日時： 2009年2月27日(金)10:30-13:30

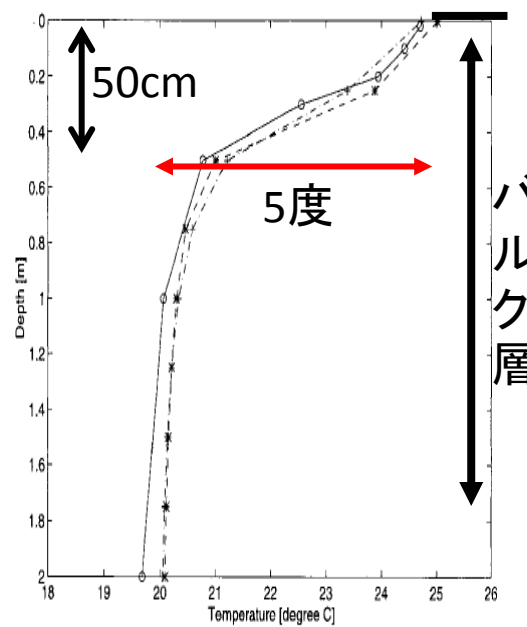
場所： 東北大学片平キャンパス流体研2号館5階大講義室

「人工衛星赤外観測による海面水温推定」 に関するバルク-スキン問題

赤外放射計観測はスキンSSTを計測するので、気象学や海洋学が求めるバルクSSTを導出することはできない。

Kawai and Kawamura (2000): プラットフォーム効果=ブイ
でさえも海面水温を正確に計ることはできない、なぜなら
ブイの動揺が極表層を乱し、攪拌してしまうから。

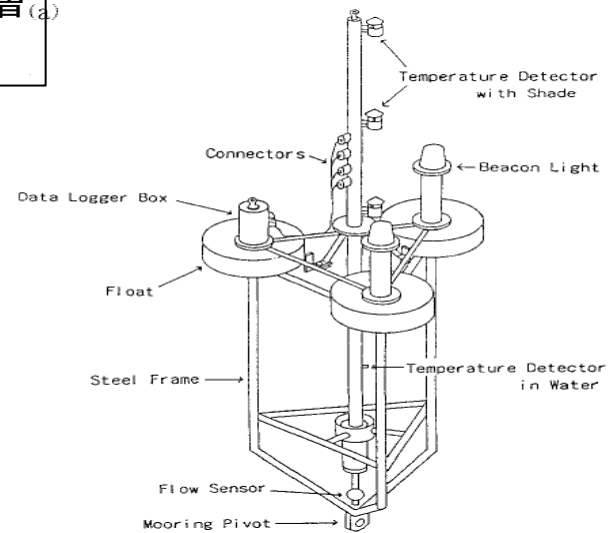
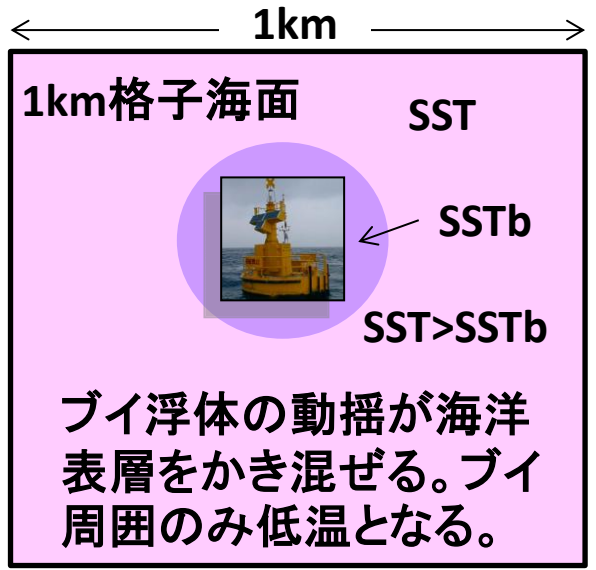
昇温時の海面付近の
水温鉛直分布。右の
浮体による計測と数値
モデルによるシミュレー
ション結果はよく一致。
しかし、ブイに接着し
た水温計の計測結果は、
モデル出力と不整合。



$\delta = \lambda v / u_*^3$
スキン層

KK極表層
モデル

プラットフォーム効果



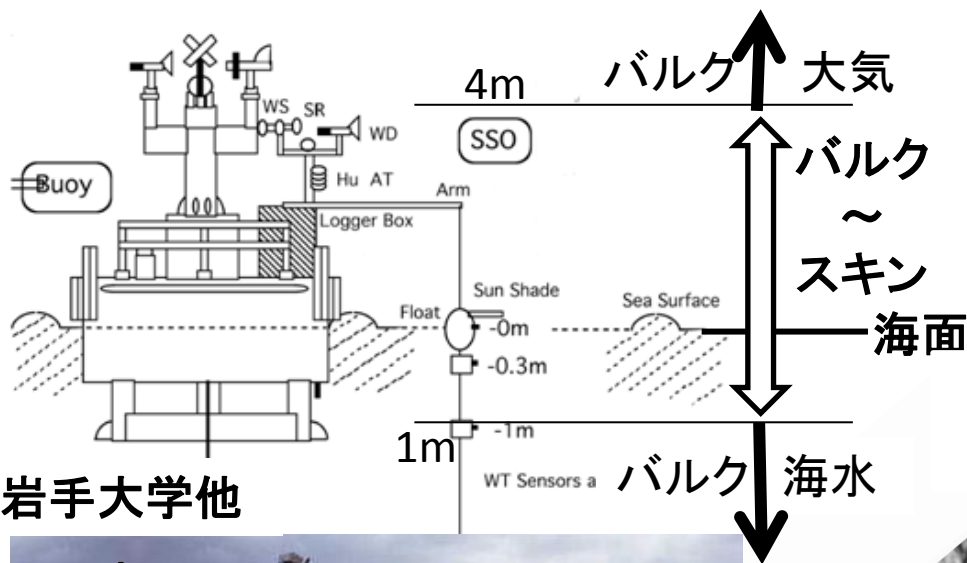
海面付近の水温計測に影響を
与えないように設計された浮体。
(Yokoyama et al., 2000)

ブイによる観測では検知できない現象が、海面付近には
存在し、それが大気海洋交換では重要な役割を果たして
いる。(本当に言いたかったこと!!)

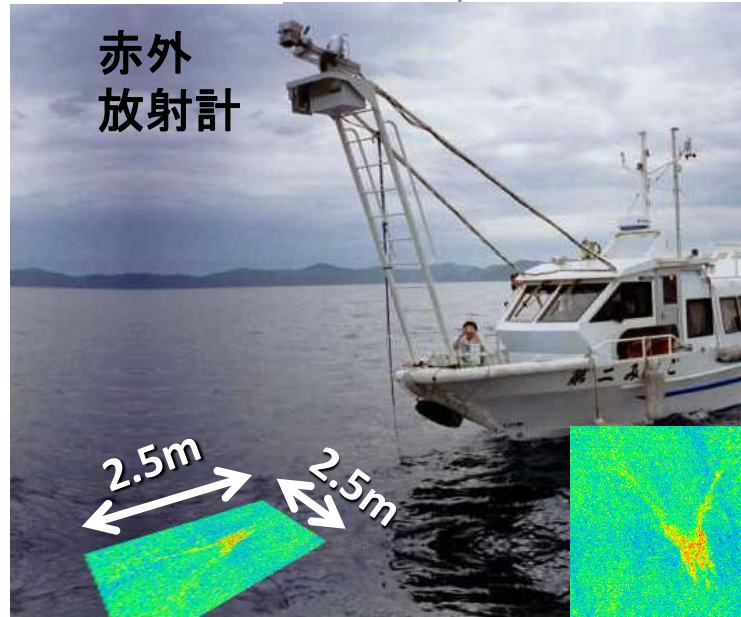
バルクからスキンへ、そして海面へ

陸奥湾の実験 (MUBEX 1995-1997年)

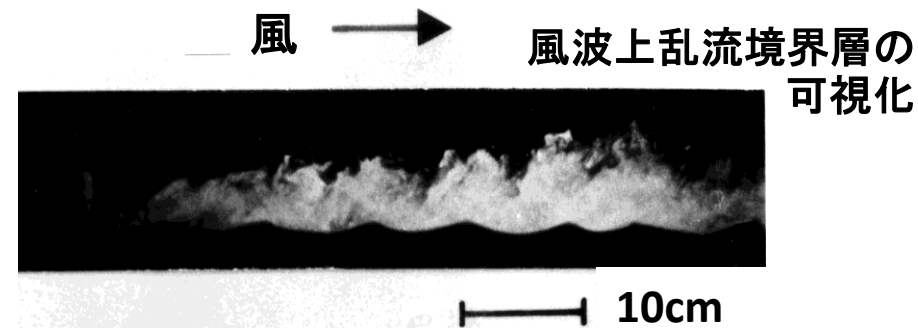
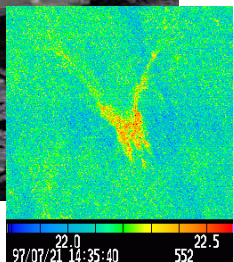
東北大学風洞水槽実験(1975-1985)



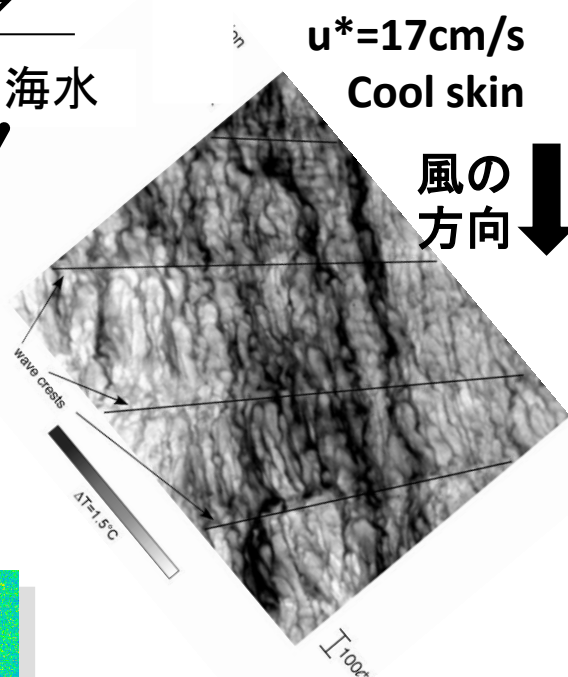
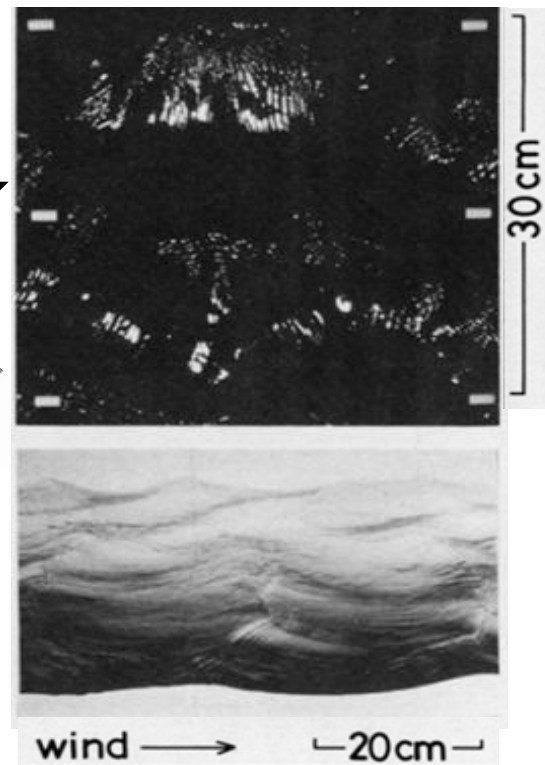
岩手大学他



Cool-Skinとwarm bulk-water

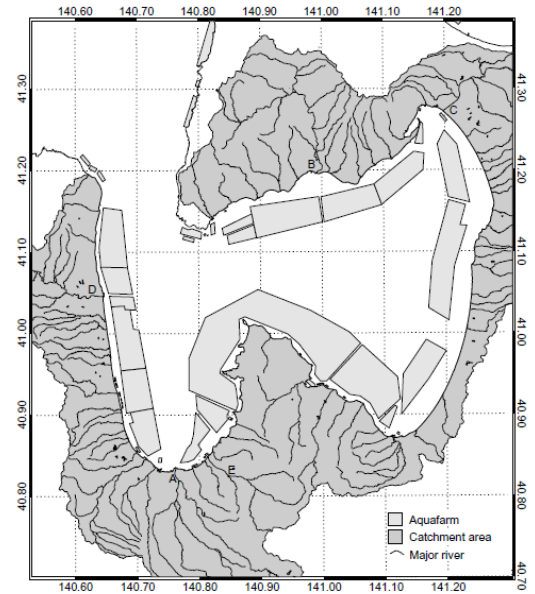
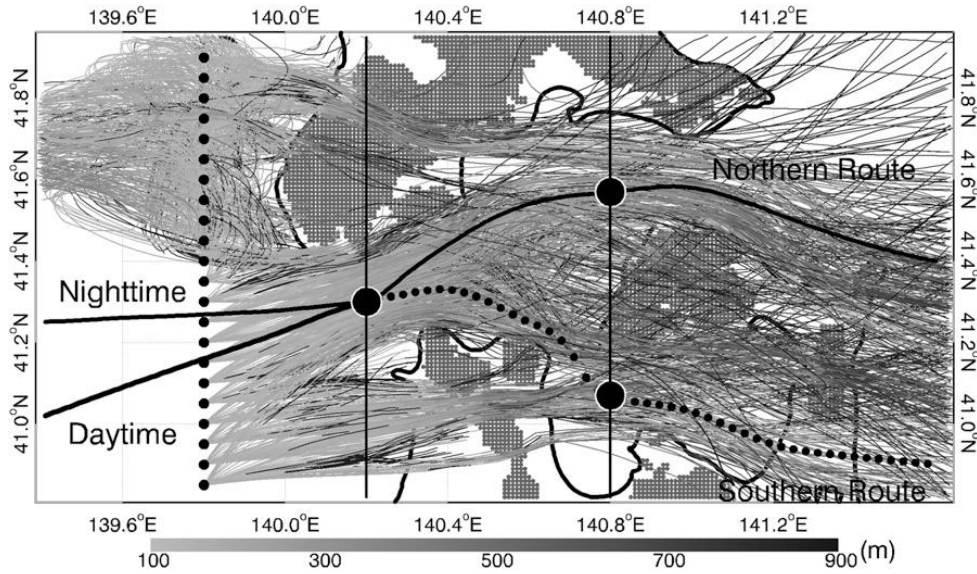
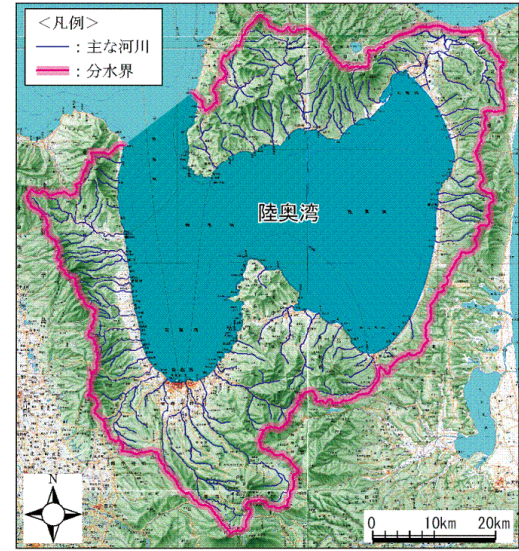


風波海面の可視反射光



↑ 実験室における風波水面の高解像度赤外画像
Smith et al.(2007)

Back-ups

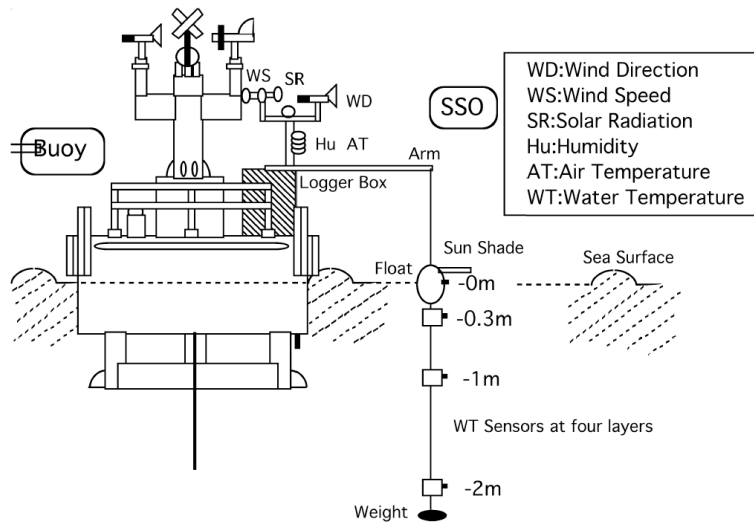


平成25年度の研究目的

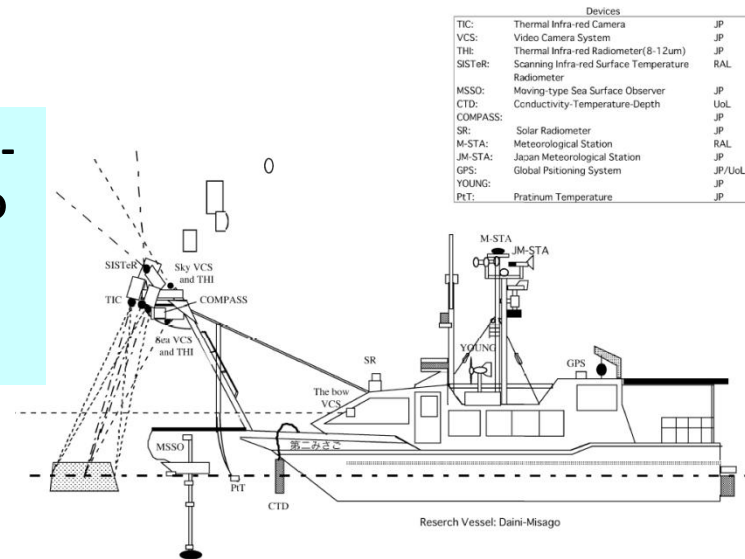
昇温期の陸奥湾の無風・静止～微風の状況で起こる大気海洋相互作用は、この地域に固有の物理機構に駆動され、日変動を伴いながら海洋の表層水温を大きく上昇させる。このような状況下で起こる海面境界過程が海面熱交換に果たす役割を調べ、異常高温発生メカニズムを高度化する。

平成25年度の達成目標

海面境界過程と熱交換に影響を与える風波、表層乱流、水中懸濁・溶存物質、塩分、スリックなどを考慮に入れ、既存の1次元数値モデルの高度化を進め(10月)、年度末までに湾内に稠密に配置された海面観測資料を合わせ用いて無風～微風時の熱交換過程を明らかにする(年度末)。



陸奥湾で1995-1997年に行われたMUBEX



我々の陸奥湾の大気海洋相互作用に関する研究

陸奥湾上のヤマセ風の日・夜間の特性について。現場観測データに基づく。

Shimada, T., M. Sawada, W. Sha, and H. Kawamura(2010), Low-level easterly winds blowing through the Tsugaru Strait, Japan. Part I: Case study and statistical characteristics based on observations, Monthly Weather. Review, 138, 3806-3821.

陸奥湾上のヤマセ風の日・夜間の特性について。数値モデル実験に基づく。

Shimada, T., M. Sawada, W. Sha, and H. Kawamura(2012), Low-level easterly winds blowing through the Tsugaru Strait, Japan. Part II: Numerical simulations of the event on 5-10 June 2003, Monthly Weather. Review, 140, 1779-1791.

SARによる夏泊半島先端でのヤマセ風はく離の発見とそれによる海洋循環

Yamaguchi, S. and H. Kawamura (2004): Influence of orographically steered winds on Mutsu Bay surface currents, J. Geophys. Res., 110(C9): Art. No. C09010.

ヤマセ風はく離による循環に駆動されたらせん渦の発見(SAR)と力学モデルの提出

Yamaguchi, S. and H. Kawamura (2009): SAR-imaged spiral eddies in Mutsu Bay and their dynamic and kinematic models, J. Oceanogr., 65(4), 525-539.

陸奥湾東湾ブイ観測の海面水温に卓越する日周期変動と局地大気循環

Kawai, Y., K. Otsuka and H. Kawamura (2006): Study on diurnal sea surface warming and a local atmospheric circulation over Mutsu Bay, J. Meteorol. Soc. Japan, 84(4), 725-744.

ブイ海面水温計測に関わるプラットフォーム効果

Kawai, Y. and H. Kawamura (2000): Study on a platform effect in the in situ Sea Surface Temperature Observations under weak wind and clear sky conditions using numerical models, J. Atmos. and Oceanic Tech., 17, 185-196.

ヤマセと陸奥湾の相互作用に関する考察

川村宏(東北大院・理)

陸奥湾は青森県の内湾である。青森県の陸域面積9,644km²に対し、陸奥湾の面積は1667.89km²(17%)、これを一つの県土が抱える。陸奥湾に流入する河川はいずれも小さく、数は多く、これらの流域はすべて青森県内にある。雪解け水や、降水や、植物の葉や地面をぬらしたヤマセの霧を集めて、川は陸奥湾に様々なものを運ぶ。細く伸びた半島が陸奥湾を抱え、狭い平館海峡が津軽暖流が流れる津軽海峡と接続している。

6月から7月にかけて、東北の太平洋側にヤマセが吹く。広大な海域から移流されてくる下層雲を伴った冷気流は、時に強く、長く吹いて稲作冷害を引き起こした。

晴天・静穏な状況下の陸奥湾の周辺には、日射に駆動されて日変動を伴う独自の海陸風循環が発達する。斜面上昇流は陸奥湾上で組織化され、下降流となって海面に向かう。

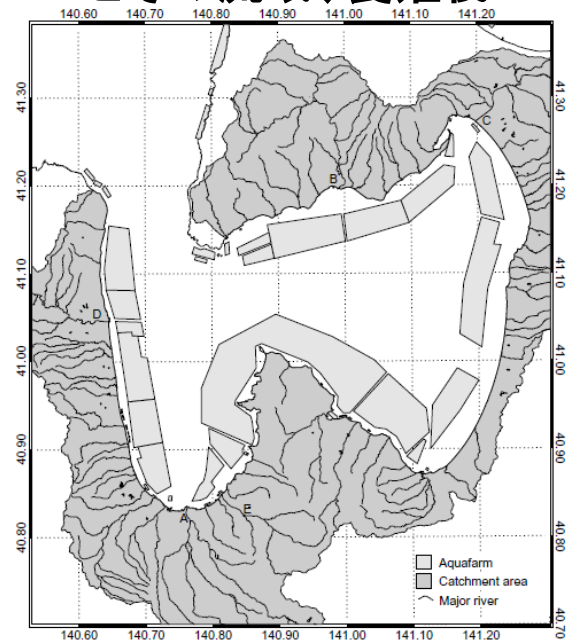
ヤマセの時期が過ぎると、陸奥湾の周辺には一斉に夏が訪れ、稲が開花し、街は夏祭りで賑わう。陸奥湾から吹く海風は水田を吹きすぎ、開花した稲の花粉は陸奥湾上の下降流に運ばれて、海面に漂うに違いない。

沿岸域大気・海洋・陸相互作用

ヤマセの雲と陸奥湾



陸奥湾に流入する河川とその流域、養殖筏



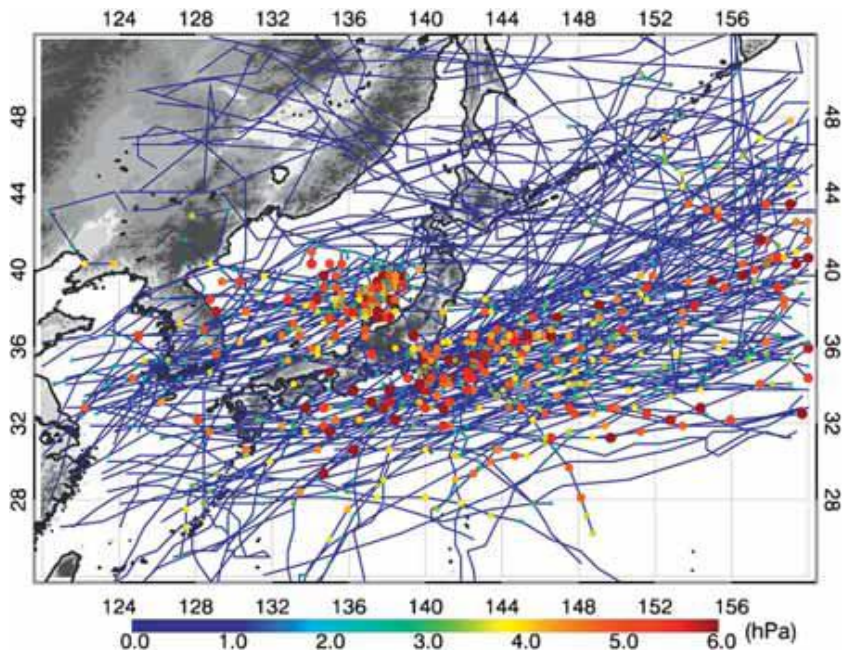


AMeDASを超える、超高密度海上観測点。湾内、約10km格子毎に一点。ユビキタスは、たぶん養殖筏につけている。

ヤマセの時期が過ぎると、陸奥湾の周辺には一斉に夏が訪れ、稲が開花し、街は夏祭りで賑わう。陸奥湾から吹く海風は水田を吹きすぎ、開花した稲の花粉は陸奥湾上の下降流に運ばれて、海面に漂うに違いない。

陸奥湾の超高密度海洋観測点。

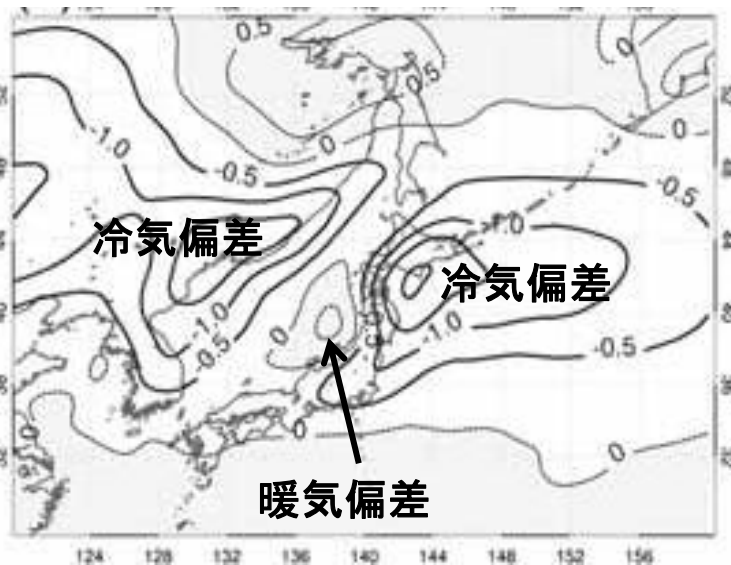
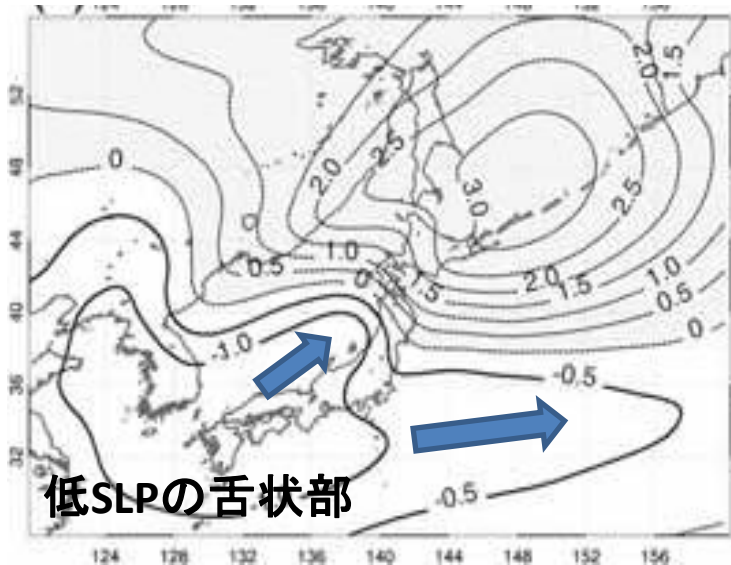
ヤマセのトリガー： オホーツク海高気圧と低気圧進路



2000-2008年6-7月のすべての低気圧の進路。JRA-25の6時間毎再解析による。進路上の点のカラーは、HK-FK間の気圧差を表す。

オホーツク海で発達した高気圧と日本海上・日本南岸沿いに進む低気圧が、函館-深浦間の気圧差を拡大し、ヤマセ地峡風のトリガーとなる。

HK-FK SLP > 1.0 hPa の場合の SLP 偏差 HK-FK SLP > 1.0 hPa の場合の 気温偏差



JRA-25による2000-2008年6-7月の偏差場。気温偏差は、1000hPa高度の気温。

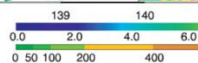
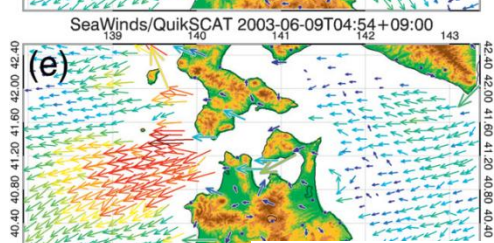
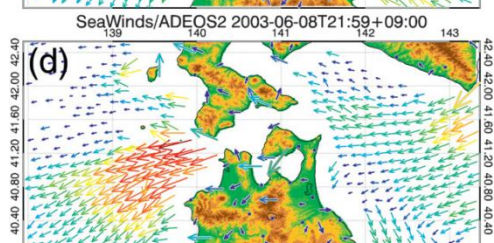
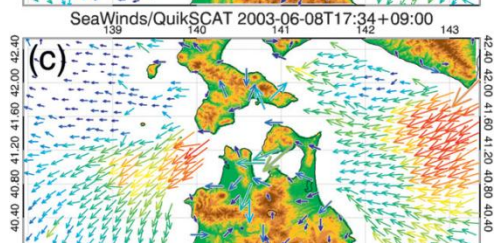
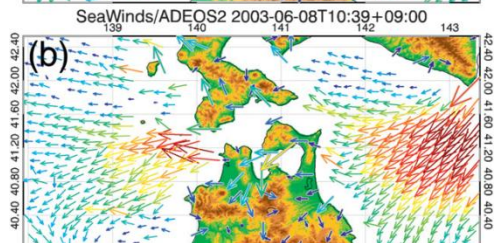
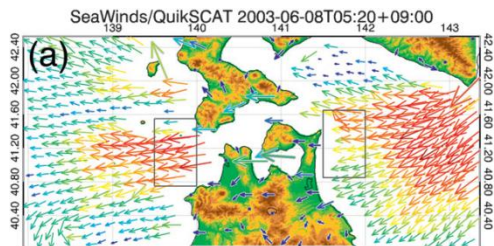
2機の散乱計による 高頻度観測 (I)

MM5による高解像度 (1km)シミュレーション (II)

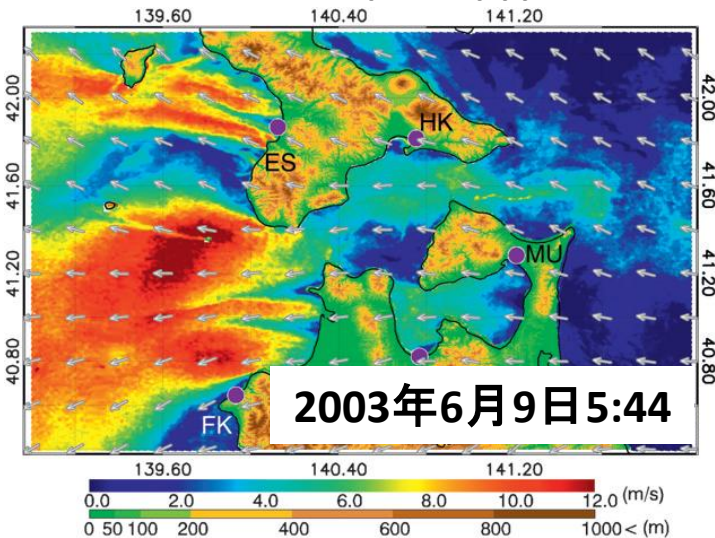
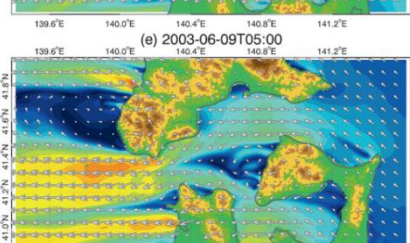
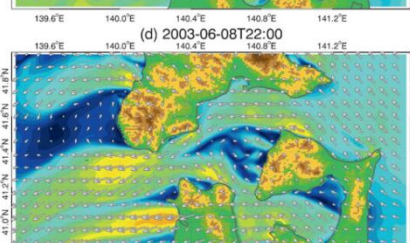
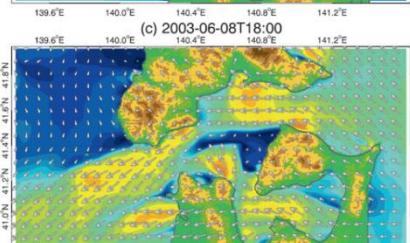
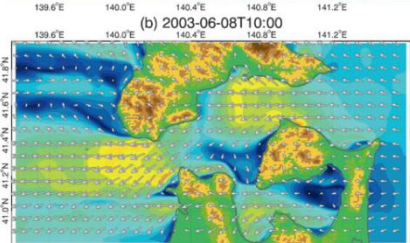
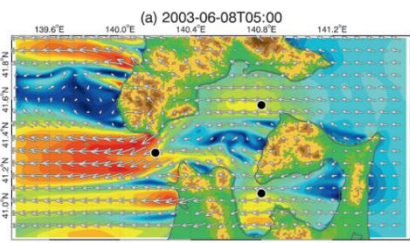
陸奥湾と津軽海峡周辺の地峡風

SARによる超高解像度 海上風画像(100m) (I)

昼
11時



2003年6月8日 - 9日



ヤマセ地峡風の日変化シミュレーション
 - 6時間毎の散乱計観測は、陸域西側の海上風の日変化を明らかにした。対応する数値モデル結果は、陸域や海峡・陸奥湾内部の日変動をよく解像する。
 - 強風域の細かな空間構造は、高解像度SAR海上風の観測とよく一致する

気象庁GPV(10km、6時間)を2段階ネストし、数値気象モデル(MM5、1km格子、33レベル)によるシミュレーションを実施。

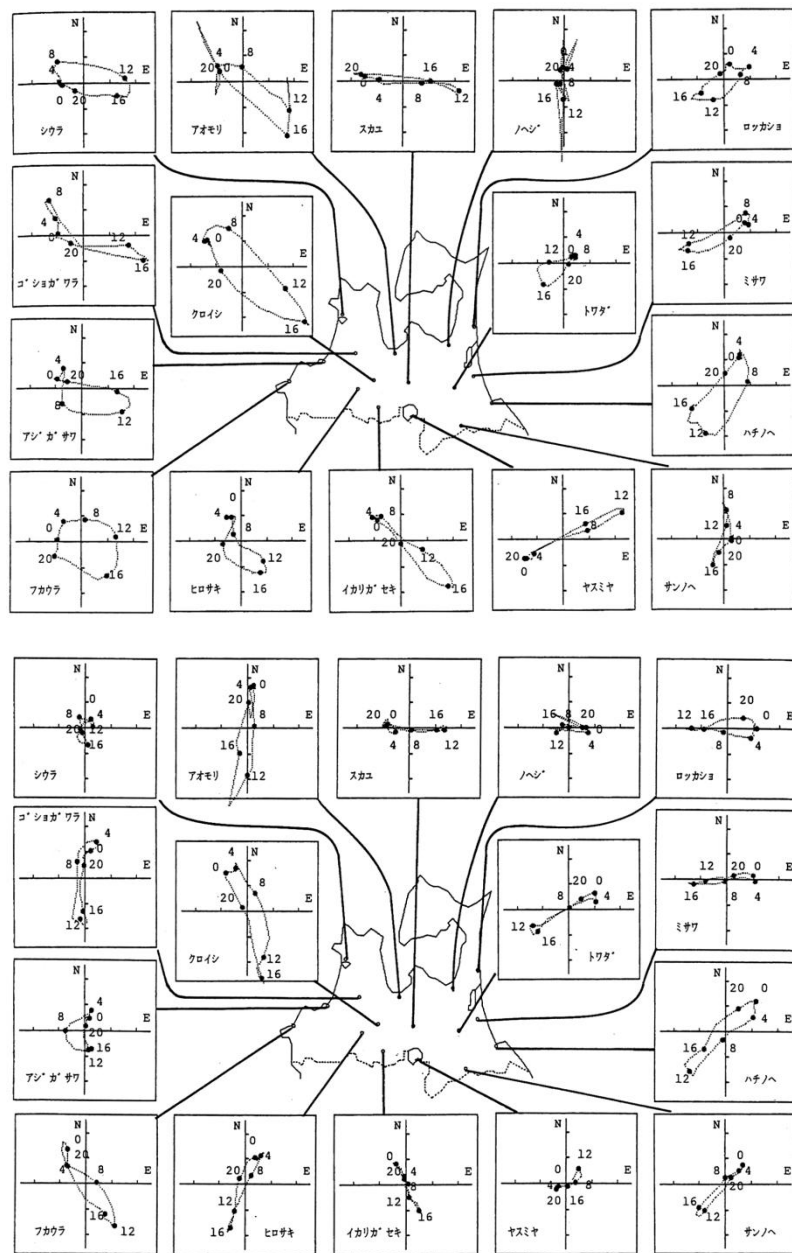
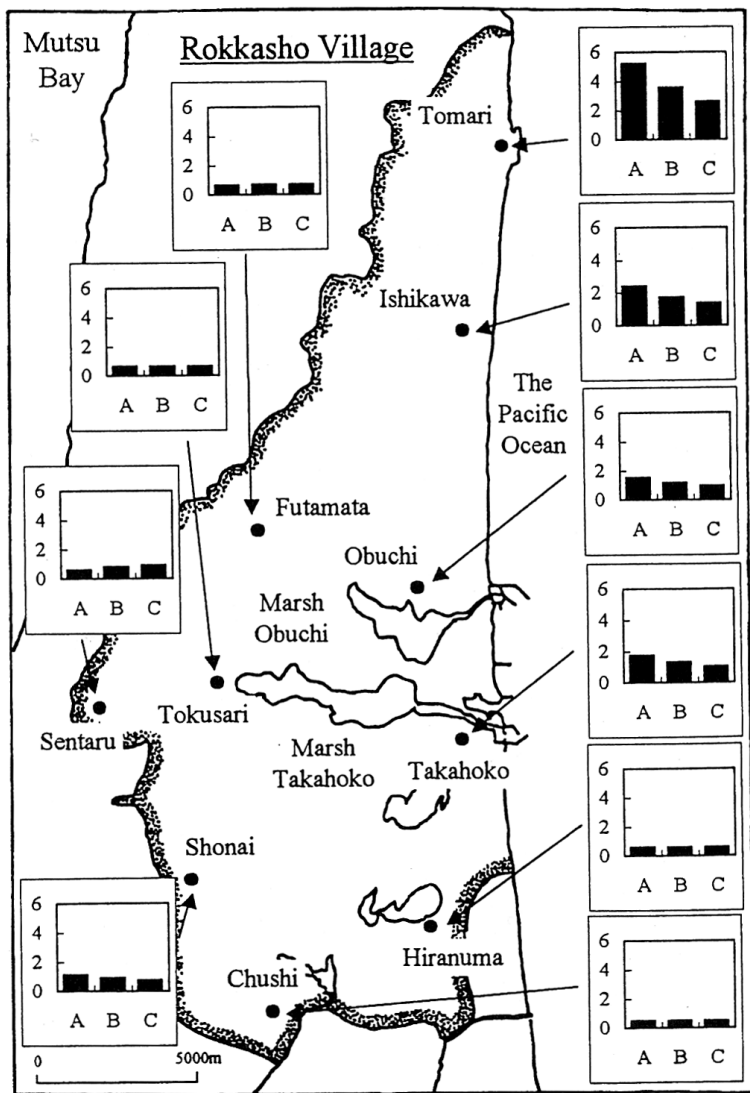
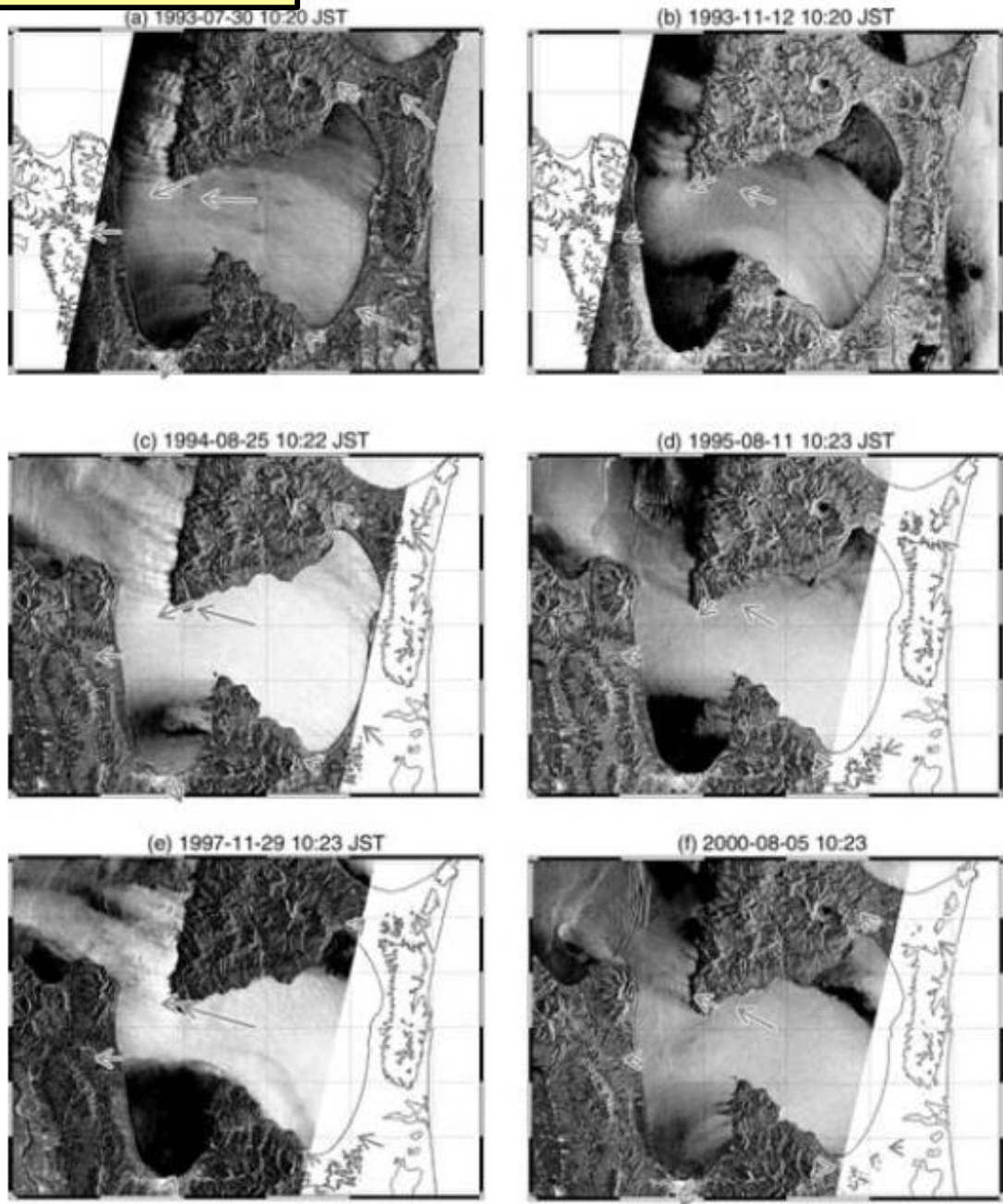


Fig. 1 Na concentrations in the air at ten points of Rokkasho Village.
 Ordinate: Na concentrations in the air ($\mu\text{g m}^{-3}$)
 Abscissa: period of calculation (A: July-Sep. B: Oct.-Dec. C: Jan.-Mar.)

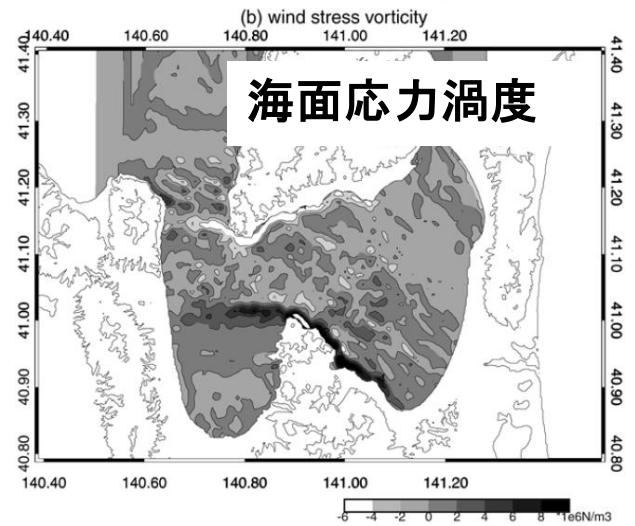
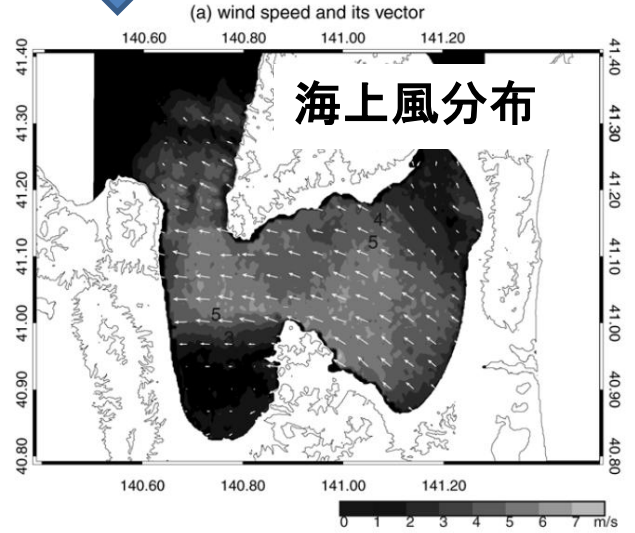
ヤマセ・モード

SAR画像

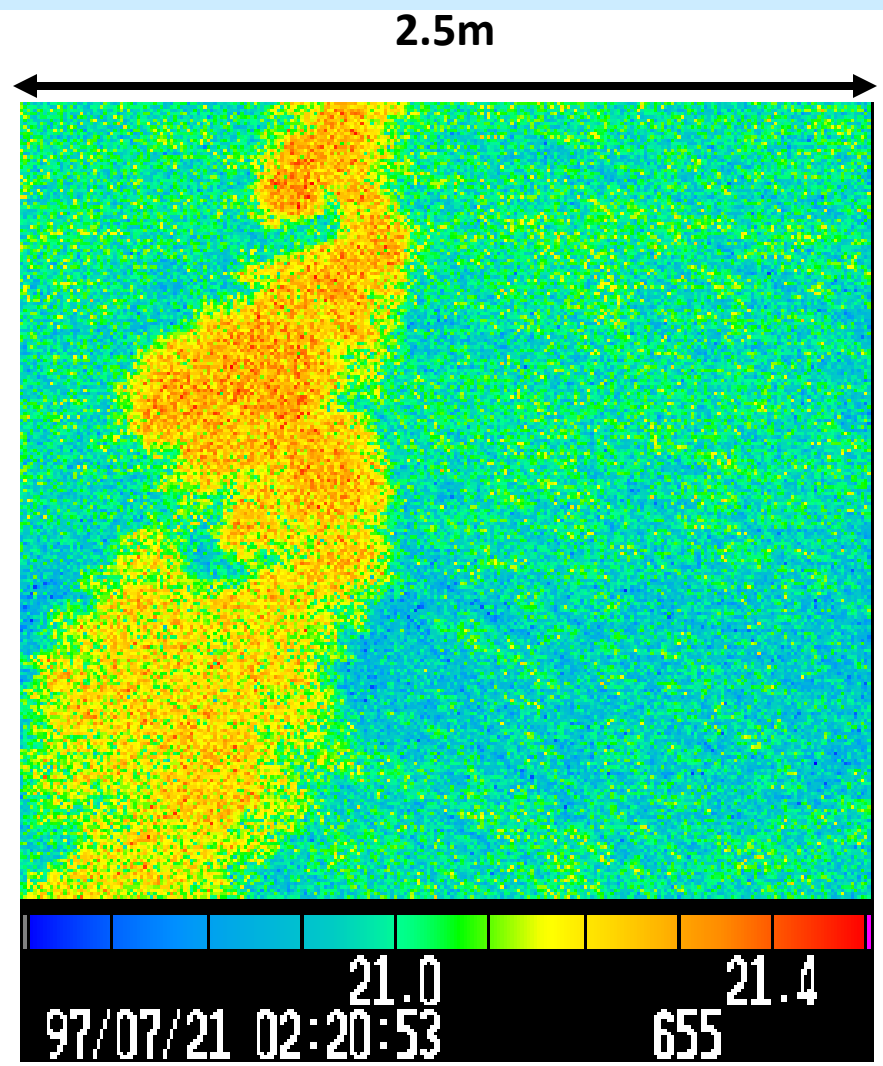
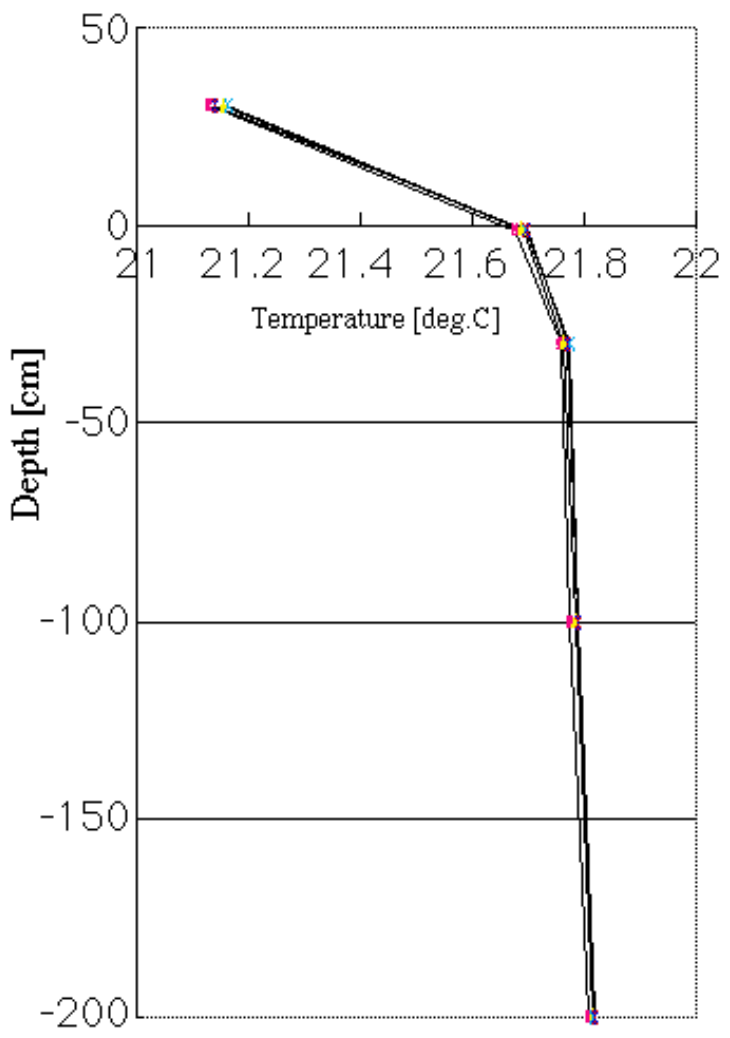
SARによる陸奥湾内のヤマセ風はく離



モデル関数による海上風推定



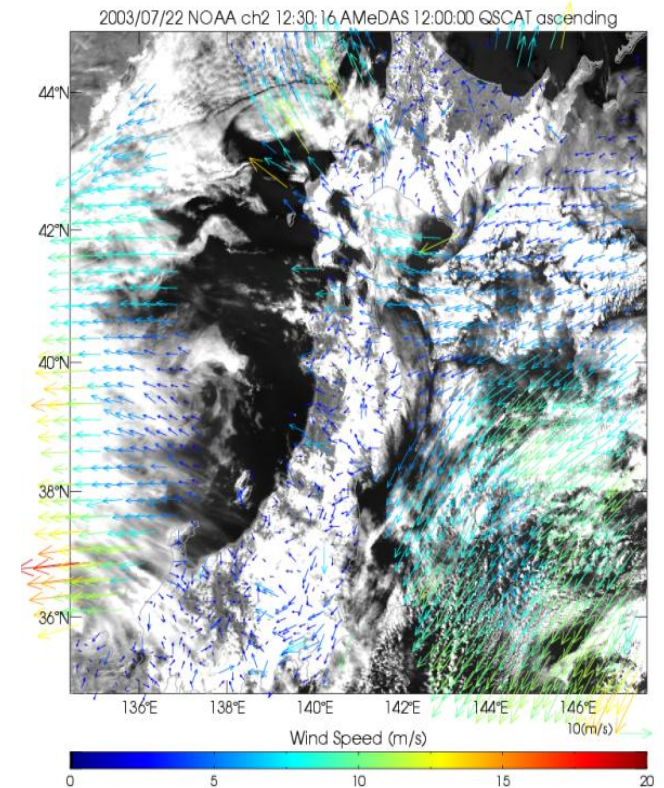
水温・気温鉛直分布と特異なIR画像



これまでの研究成果の総括と、ヤマセ予測手法実現の可能性

- 1) 晴天静穏時に大きな海面水温日変動を伴い湾内水温が上昇する(日変動モード)。これは陸奥湾に固有な海陸風循環と連携している。
- 2) 北東気流が卓越すると冷却と海水上下混合が起こり、陸奥湾の水温は降下する(やませモード)。
- 3) やませ気流は日変動モードの影響を受けて固有の日変動を起こす。
- 4) 南東から侵入したやませ風が夏泊半島先端ではく離し、西湾に反時計回り海洋循環を形成し、生物活動を活性化させ、海洋表面の螺旋状スリックを出現させる。
- 5) 下層雲や霧を伴った海洋性冷氣塊が陸奥湾周辺東部域を覆うと、東西気圧差が増大し、陸奥湾にやませ気流が侵入する(右図)。さらに、低気圧擾乱が日本海に在るか、日本南岸に沿って進むとき、やませ気流侵入のトリガーとなる。

日本周辺の総観規模現象を監視することで、局地的なやませ気流の動向は、かなり予測できる。



2003年7月22日、衛星観測によるやませの状況。雲は白、陸は灰色、海域は黒。色つきのベクトルは地表風。東北地方の東岸に吹き寄せるやませ気流が海上風により表されている。東北地方の東部において、低層の「やませ」雲が地形によりブロックされている。