

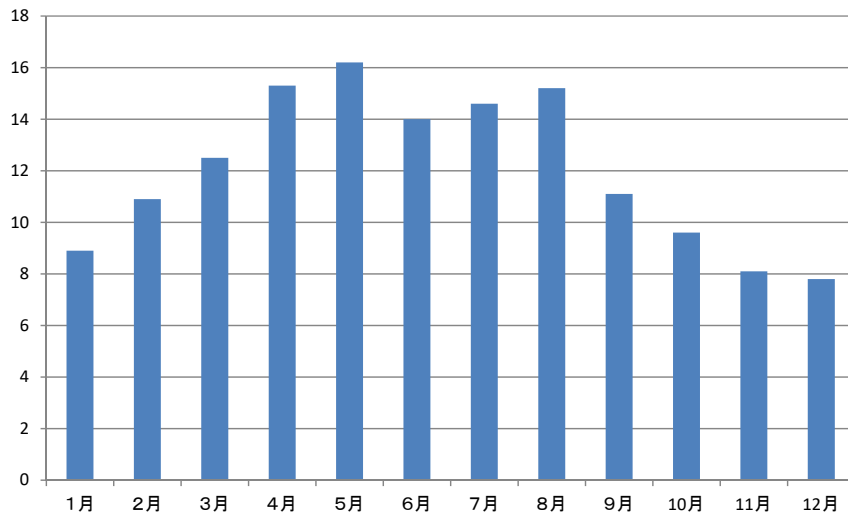
土木学会 エネルギー委員会
講演会
「太平洋で再生可能エネルギー100%を目指す」
(2020年1月28日)

講演・その3
「自然エネルギー利用のための
低緯度太平洋気象海象条件」
江本永二

本プロジェクトにおける「気象・海象」の役割

1. 最適な場所はどこか
発電効率の最大化と安全確保
(日射・風・気温、 波)
2. 移動するときの最適時期とルート
目的をもって積極的な移動
(気象・海象条件)
3. 予 報 (特に危険の察知)
ルーチン予報 (特に、熱帯低気圧)

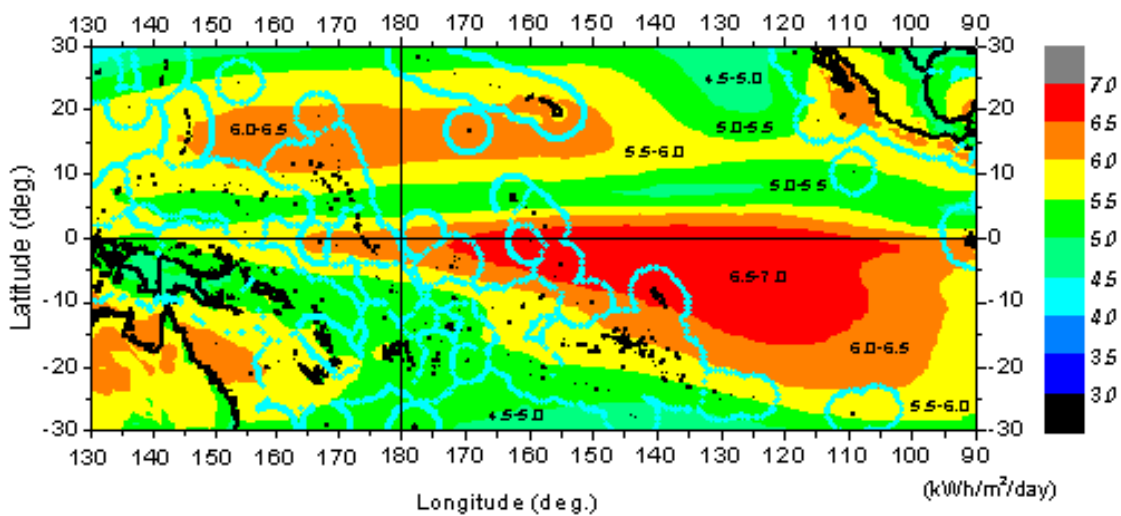
日 射 量 (東京の平年値)



全天日射量 (MJ/m²)

1981~2010の30年間の平均値。各月の平年値。(気象庁資料)
 気象庁に電話で問い合わせたところ、単位は、「MJ/day/m²」であることがわかった。

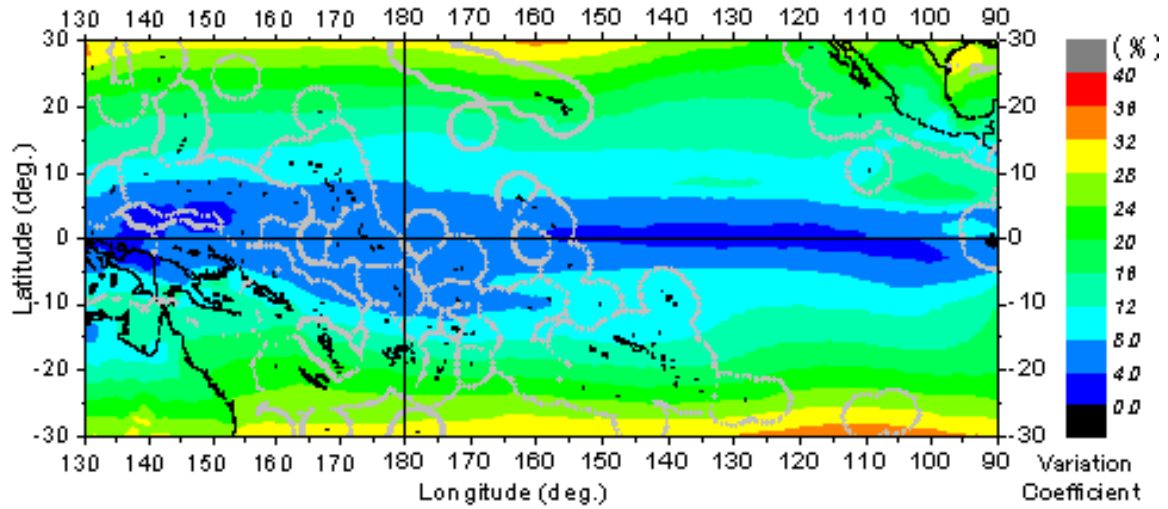
日 射 量 (絶対値)



水平面全天日射量

NASAが1983年7月から2005年6月までの衛星情報を用いて算出した。年平均値。水色の太線で囲われた範囲は排他的経済水域 (EEZ)。日本付近では4~5 (kWh/m²/day)である。

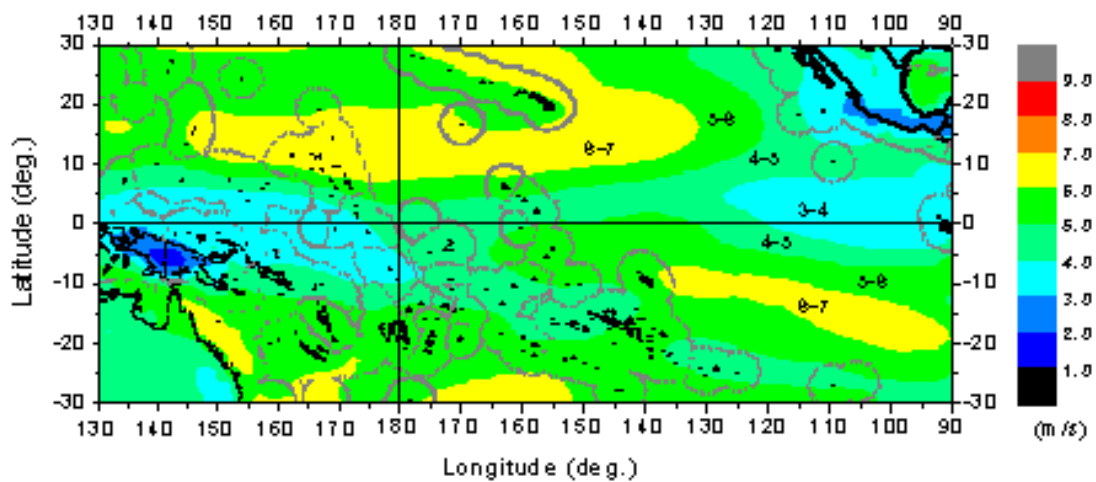
日 射 量 (変動係数)



年平均日射量分布の変動係数

(同じく、NASAより)

風 速 (太平洋)



年平均風速 (スカラー平均: 単位はm/s)

太平洋低緯度海域での1°メッシュの年平均風速
(同じく、NASAより)

日射量・風速 (NASA)

日射量

The data is generated using the NASA Goddard Earth Observing System - Version 4

(GEOS 4) Multiyear Assimilation Timeseries Data.

The GEOS 4 data set has a spacing of 1.25 degrees of longitude by 1 degree of latitude.

The solar energy data is generated using the Pinker/Laszlo shortwave algorithm.

Cloud data is taken from the International Satellite Cloud Climatology Project DX dataset (ISCCP). ISCCP DX data is on an equal area grid with an effective 30x30 km pixel size. (NASA のウェブサイトより引用)

風速 (海上風)

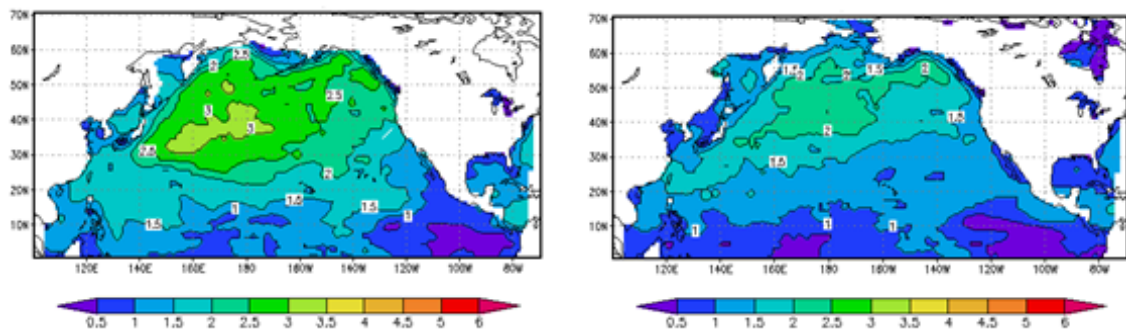
風速ベクトル:

風により海面に波が生じると、電磁波の海面散乱が大きくなる

(散乱係数が海上風の風向・風速に依存する)。

そこで電磁波の海面散乱を測定し、Geophysical model functionをベースに風向風速を推定している。(東京海洋大学 海洋環境学部門・溝端 浩平氏のウェブサイトより引用)

波高 (太平洋)



波高 (有義波高)

気象庁作成、同ウェブサイトより引用。

世界の大波（サーフで注目）

ビッグウェーブ・サーフスポット 10傑		
1	ワイメア (Waimea)	ノースショア/ハワイ
2	パイプライン (Banzai Pipeline)	ノースショア/ハワイ
3	ジョーズ (Jaws)	マウイ島/ハワイ
4	マーベリックス (Mavericks)	カルフォルニア/アメリカ
5	ダンジョンズ (Dungeons)	ケープタウン/南アフリカ
7	ケープ・フィア (Cape Fear)	ニューサウスウェールズ/ オーストラリア
8	ザ・ライト (The Right)	WA州/オーストラリア
9	シップスターン・ブラフ (Ship Stern Bluff)	タスマニア/オーストラリア
6	ナザレ (Nazare)	レイリア/ポルトガル
10	チョープー (Teahupoo)	タヒチ

(「FINE TRIP(2017/03/15)」より引用)

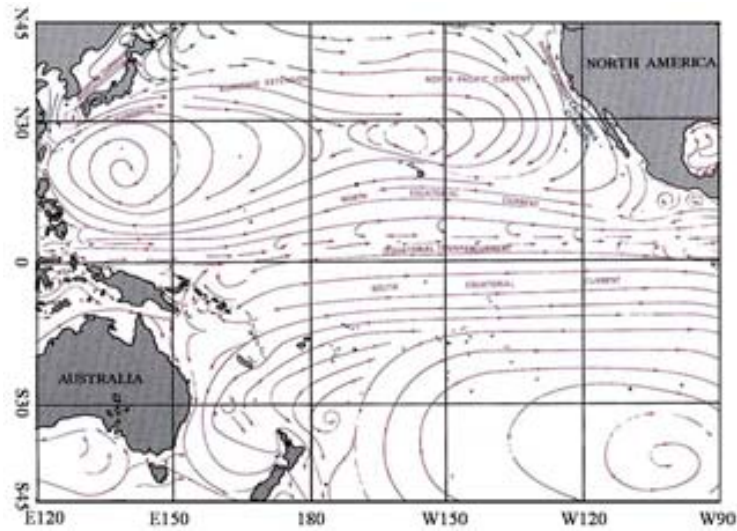
世界の大波（フリーク波）

Freak Wave（気まぐれ波）

現状では不明点が多い

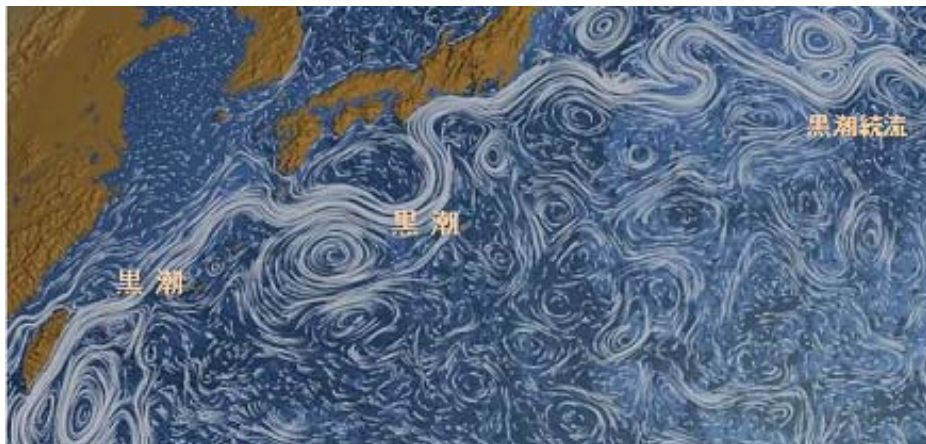
- ・気象庁や水産の分野では「一発大波」が使われるが、工学の分野では「フリークウェーブ」が一般的。(出典: Wikipedia)
- ・波高が 20~30 m くらい、周期は数十秒、波長は数百mの水面波。(出典: 同、巨大波)
- ・一発大波にははっきりした定義はないが、フリークウェーブは有義波高の2倍を超える波として定義されている。(出典: 同、巨大波)
- ・2001年以降、欧州宇宙機関が衛星画像を用いて巨大波の研究を行い、地球全体で見ると外洋では 30 m 級の巨大波の発生はそれほど珍しいものではないと報告している。(出典: 同)
- ・北海における石油掘削リグの波高計により観測されたフリーク波の記録(1995年): 最大波高 16.4 m, 17.6 m, 18.2 m, 17.8 m が観測された。有義波高と最大波高との比はそれぞれ 2.38, 2.18, 2.31, 2.29 だった。(出典: 石黒仁規、平成26年1月、九州大学)
- ・不規則な海洋の波の中には有義波高よりも高い波が含まれている。10波に1波は有義波高の1.3倍、100波に1波は1.6倍、1000波に1波は2倍に達すると言われる。
この経験則を拡張すれば、数千あるいは数万波に1波は有義波高の数倍となることが考えられる。(出典: 同)
- ・多方向からの波が重なり合うことで生じるものが三角波(さんかくなみ)である。
- ・貨物船「尾道丸」(3万4000トン)の沈没事故。
S55(1980)年12月30日、5万トンの石炭を積んで日本近海を航行中に巨大波に襲われて船首が壊れ、沈没した。

海 流 (太平洋)



赤道を挟んで北側低緯度には「北赤道海流」が、また南側低緯度には「南赤道海流」が対称的に存在し、両海流ともに西へ向かう。
これら両海流の間の赤道直下～北緯5度付近にかけて「赤道反流」があり、これは東へ向かう流れである。(出典:Wikipedia)

海 流 (NASA)



NASA / Perpetual Ocean

ゴッダード宇宙飛行センターによる海流シミュレーション

2005年6月～2007年12月までの2年半の地球規模の海流をシミュレートしたもの。計算モデルにはNASA/JPLが開発した ECCO2 を使用。熱や水面だけではなく海中の流れや海氷まで高い解像度で再現できる。上例は海洋表面の流れだけを可視化。

(NASA のウェブサイトより引用)

海 流 (NASA)

ECCO (Estimating the Circulation and Climate of the Ocean)

ECCO is a joint project between the MIT and NASA's Jet Propulsion Laboratory in Pasadena, Calif.

ECCO uses advanced mathematical tools to combine observations with the MIT numerical ocean model to obtain realistic descriptions of how ocean circulation evolves over time.

- the largest computations of their kind ever undertaken
- high-end computing resources

Data used by the ECCO project include:

- sea surface height (from NASA's Topex/Poseidon, Jason-1, and Ocean Surface Topography Mission/Jason-2 satellite altimeters;)
- gravity (from the NASA/German Aerospace Center Gravity Recovery and Climate Experiment mission;)
- surface wind stress (from NASA's QuikScat mission;)
- sea surface temperature (from the NASA/Japan Aerospace Exploration Agency Advanced Microwave Scanning Radiometer-EOS;)

など

(NASA のウェブサイトより引用)

天気予報 (気象・海象)

< 気 象 >

観測データ



客観解析

(初期値作成)



数値計算



予 報

< 海 象 >

波浪予報値

(スペクトルモデル)



伝 搬



波浪スペクトル



風 浪

海上風



気象の数値予報（基礎方程式）

未知数は、 u, v, w, ρ, p, T, q の7個

方程式は、運動(3個)、連続、状態、エネルギー保存、水蒸気保存の7個

運動方程式
X方向のみ表示

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \left[-u \frac{\partial u}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial y} - w \frac{\partial u}{\partial z} \right] + 2\Omega v \sin \phi - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + F_x$$

連続の式

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \left[-u \frac{\partial \rho}{\partial x} - v \frac{\partial \rho}{\partial y} - w \frac{\partial \rho}{\partial z} \right] - \rho \left\{ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right\}$$

状態方程式

$$p = \rho RT$$

エネルギー
保存の式

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \left[-u \frac{\partial \theta}{\partial x} - v \frac{\partial \theta}{\partial y} - w \frac{\partial \theta}{\partial z} \right] + H$$

(出典: 気象庁資料)

気象の数値予報（概要）

歴史

昭和34年(1959年)に数値予報業務を開始した。
今日では予報業務の根幹となっている。

数値モデルの種類

GSM (全球モデル)

格子間隔が20 km 高・低気圧や台風、梅雨前線などの水平規模が100km以上の現象を予測する。

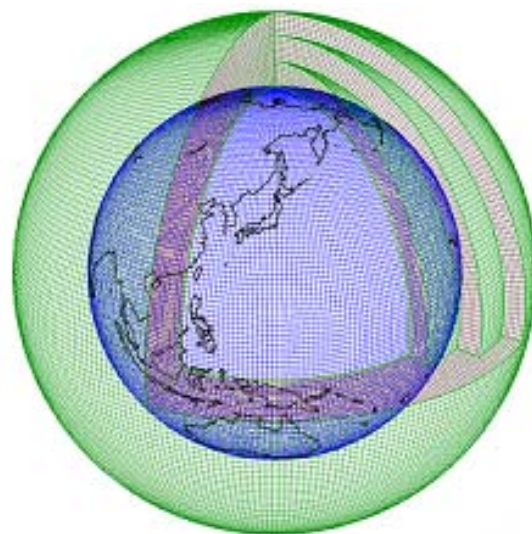
MSM (メソモデル)

格子間隔が5 km 局地的な低気圧や集中豪雨をもたらす組織化された積乱雲など、水平規模が数10km以上の現象を予測する。

LFM (局地モデル)

格子間隔が2 km 水平規模が10数km程度の現象を予測する。個々の積乱雲が表現できる程ではない。

(出典: 気象庁資料)



全球モデルの格子点

GPV (Grid Point Value)

天気予報の種類（日本）

大きくは4区分

- ・短時間予報：3時間後まで
- ・短期予報：3時間後を超え48時間後まで
（今日・明日・明後日）
- ・週間予報：48時間後を超え7日後まで
- ・季節予報：1か月・3か月先までの
およその天気の特徴

（季節予報については次ページで詳説）

（出典：気象庁資料）

「季節予報」の種類（日本）

季節予報の予報期間

「1か月予報」：1週目、2週目、3～4週目

「3か月予報」：1か月目、2か月目、3か月目

「暖候期予報」：3～6か月先（6月～8月の予報）

「寒候期予報」：2～5か月先（12月～2月の予報）

予測手法

「1か月予報」は、数値予報による。

その他の季節予報は、数値予報と統計的手法の併用による。

（出典：気象庁資料）

予報精度の向上策(日本)

「予報精度の向上」 = 「予報期間の延長」

1. 大気・海洋結合モデル
海水温が大気に与える影響を反映
2. 数値計算スキーム
気象というより、数学の問題
3. 初期値の改善
四次元同化法で初期値の精度を向上
ゼロにならない誤差を**アンサンブル予報**で
4. その他
雲、陸面過程、非静力学計算 など

三人の気象学者(渡米した日本人)

いずれも天気予報の改善に貢献した

藤田哲也

1920年生、シカゴ大学、竜巻のFスケール

佐々木嘉和

1927年生、オクラホマ大学において、変分法の導入による力学的気象解析を創始、**四次元同化**

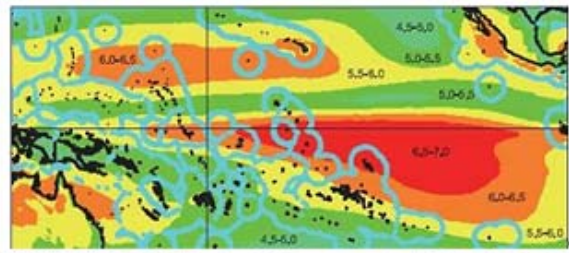
眞鍋淑郎

1931年生、NOAA・地球流体力学研究所、世界で初めて**大気海洋結合大循環モデル**を開発

熱帯低気圧

日 射 量

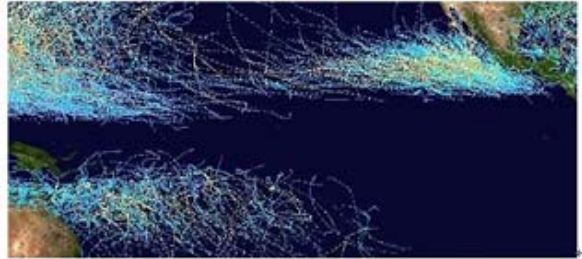
(前出、NASA)



熱帯低気圧

1985～2005年に発生したもの。

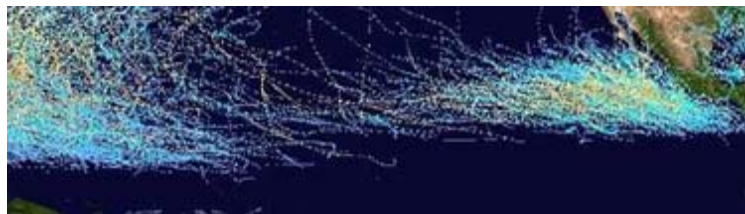
(出典: Wikipedia)



赤道付近では台風は発生しない。その北側または南側で発生した熱帯低気圧の進路はβ効果により赤道から離れる方向である。熱帯低気圧が赤道を横切る進路をとることはない。南米沖で発生しないのは、水温が低いため。北太平洋において、日付変更線を東から西へ横切って、日本の南海上に来ることは時々ある。

熱帯低気圧 (越境台風)

頻度は 100個に1個と
言われている。 大体
2～5年に1回くらい。



「越境台風」の定義

・太平洋で発生する熱帯低気圧のうち、日本の気象庁が観測対象とする範囲(太平洋北西部、南シナ海)以外で発生した熱帯低気圧(ハリケーンやサイクロンなど)が、観測範囲の境界線を越えたことで「台風」と分類されるようになったものを言う俗称である。

- ・普通、西経域の熱帯低気圧が、経度180度線を越え東経域に入るもの。
- ・他にも、東経域から西経域に入る台風 や、東経100度以西に進む台風 もある。
- ・インド洋から域内に入る熱帯低気圧は、ほとんどない。

・主に8月から9月に発生する。

(Wikipediaより引用)

熱帯低気圧（越境台風）

1990年以降の事例

- 1990年 (H02) の 13号
- 1992年 (H04) の 1号、21号
- 1993年 (H05) の 10号
- 1994年 (H06) の 15号、20号、33号
- 1997年 (H09) の 19号と 28号（19号オリバは日本に上陸）
- 1999年 (H11) の 11号
- 2002年 (H14) の 17号と24号
- 2006年 (H18) の 12号
- 2013年 (H25) の 13号
- 2014年 (H26) の 13号
- 2015年 (H27) の 12号（ハロラ）日本に上陸した。復活台風。

（出典：ヤフー知恵袋のベストアンサー、2017年10月 など）

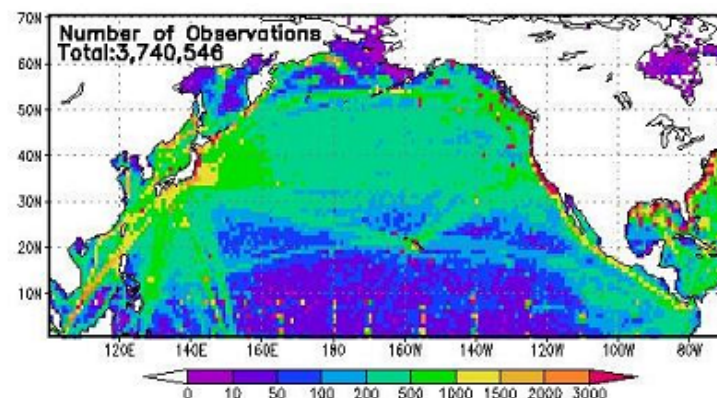
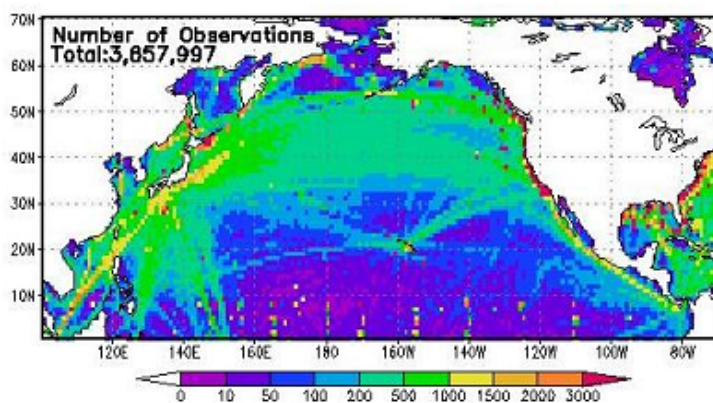
観測点数

風速(9月) の観測点数

両図ともに、1971年から
2000年までの30年年
間。

（気象庁資料）

風速(11月) の観測点数

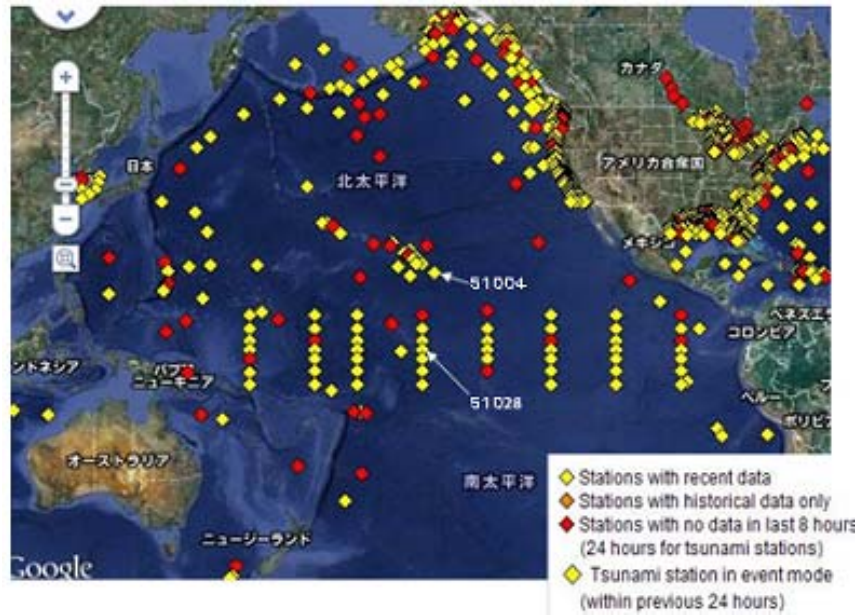


太平洋での観測（気象・海象）

米国が設置する海洋ブイ

観測項目

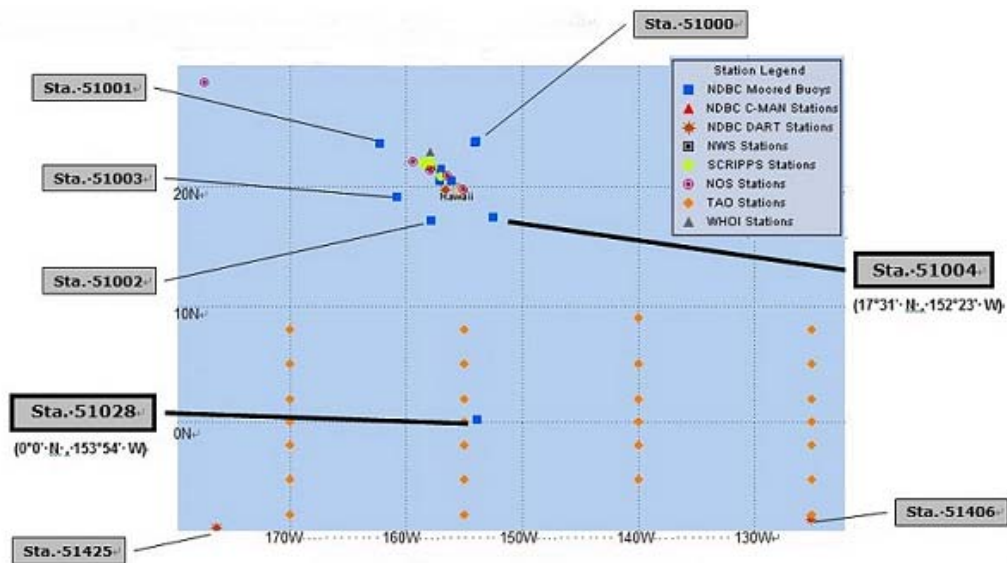
- ・気温,
- ・8分間の平均風速,
- ・瞬時風速(5秒間の平均風速),
- ・有義波高,
- ・全波の平均周期,
- ・有義波の卓越周期



米国ブイセンター(NDBC: National Data Buoy Center)より引用

二つのステーションについて、次ページに紹介

太平洋での観測（二つの海洋ブイ）



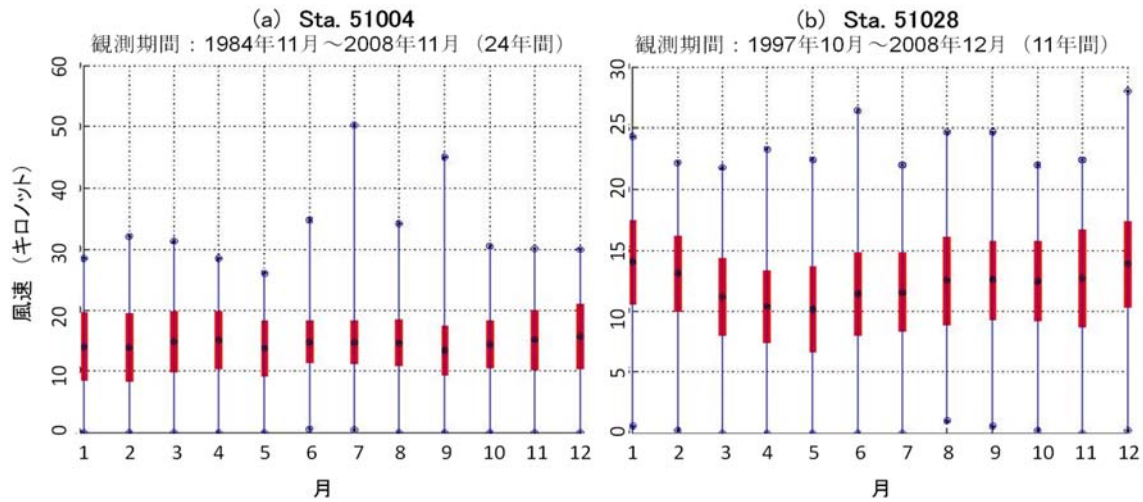
Sta. 51004: Southeast Hawaii（ハワイ近海）

17.5 N, 152.4 W

Sta. 51028: Christmas Island（クリスマス島近海）

0.0 N, 153.9 W

平均風速 (二つの海洋ブイ)



8分間平均風速の月別平均値

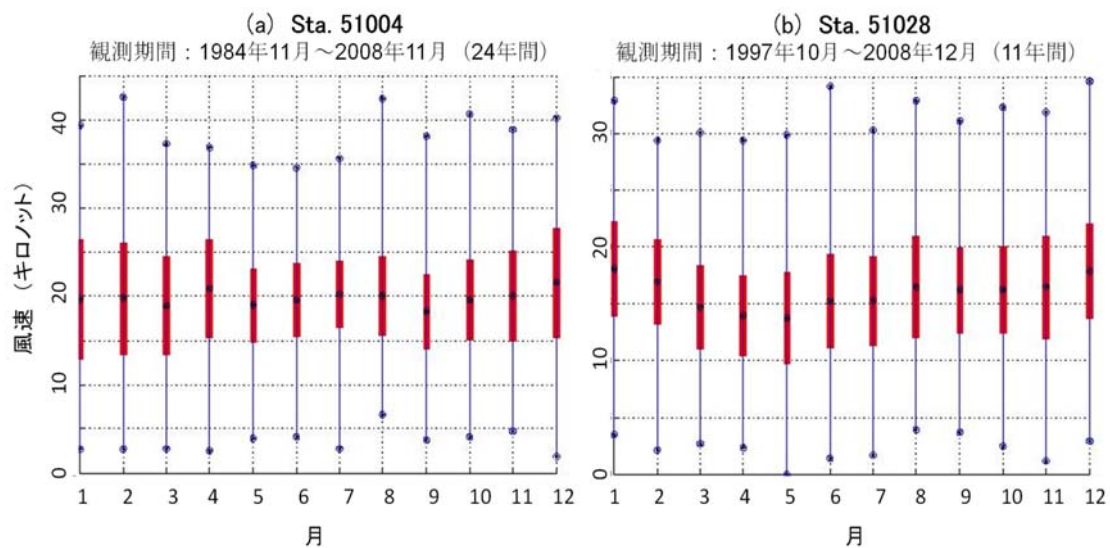
標準偏差(赤帯), 最大・最小値

Sta. 51004 (ハワイ近海) : 年間を通して平均風速は6~7m/sで推移

Sta. 51028 (クリスマス島近海) : 年間を通して平均風速は5~7m/sで推移

米国ブイセンター(NDBC: National Data Buoy Center)より引用

瞬間風速 (二つの海洋ブイ)



瞬時風速 (5秒間の平均風速) の月別平均値

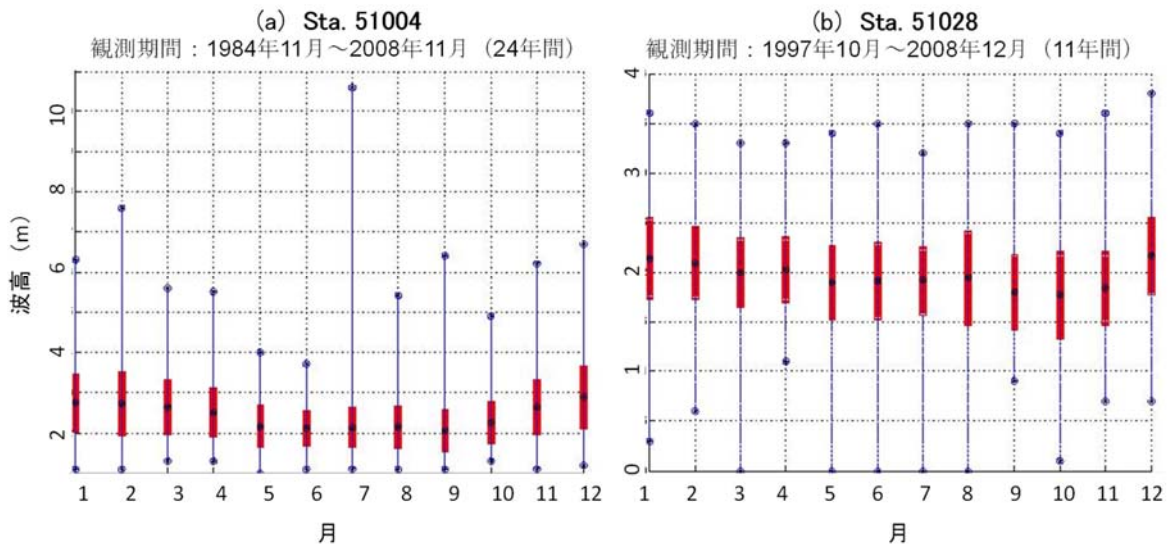
標準偏差(赤帯), 最大・最小値

Sta. 51004 (ハワイ近海) : 年内変動は小さく10m/s前後で推移

Sta. 51028 (クリスマス島近海) : 同

米国ブイセンター(NDBC: National Data Buoy Center)より引用

波 高 (二つの海洋ブイ)



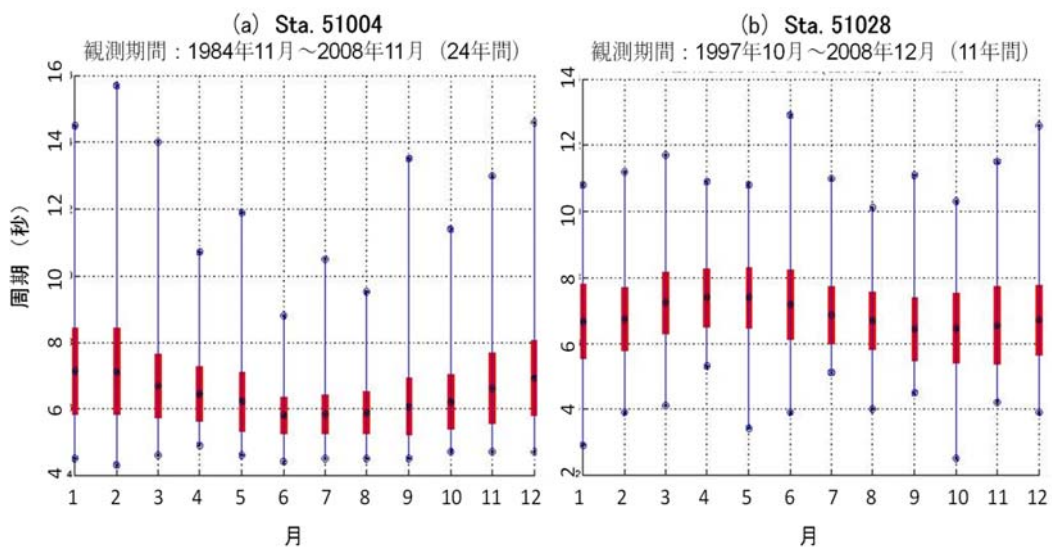
有義波高 (上位3分の1の波について20分間の平均波高) 標準偏差(赤帯), 最大・最小値

Sta. 51004 (ハワイ近海) : 年間を通して有義波高は2~3mで推移

Sta. 51028 (クリスマス島近海) : ハワイ付近より小さく年間を通して1.5~2.0mで推移

米国ブイセンター(NDBC: National Data Buoy Center)より引用

波 の 平均周期 (二つの海洋ブイ)



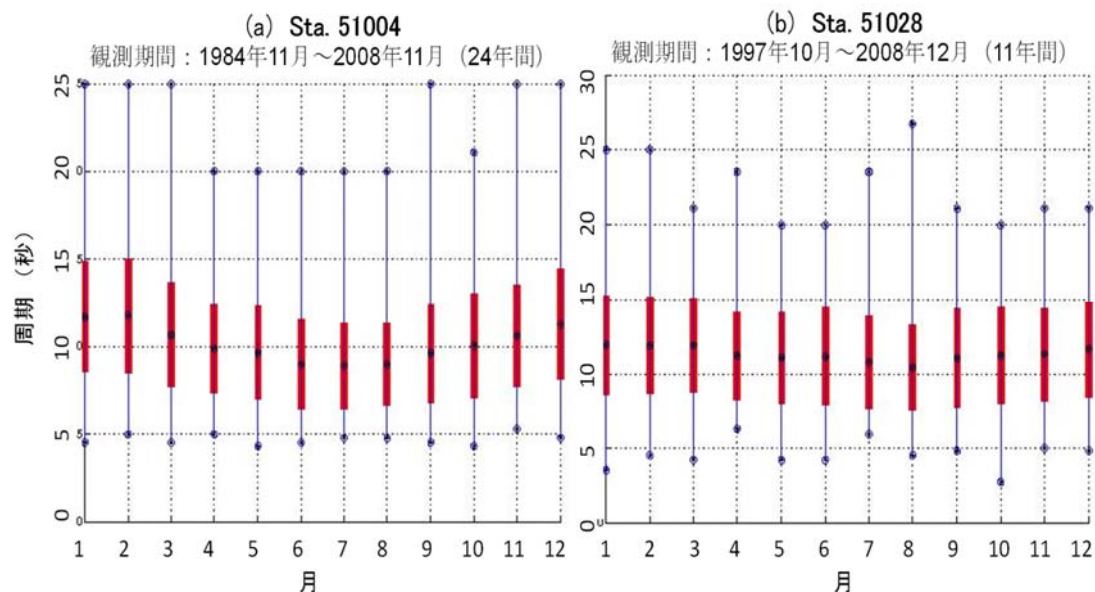
平均周期 (20分間の全波平均) 標準偏差(赤帯), 最大・最小値

Sta. 51004 : 最も長周期なのは1月と2月の7.1秒、最も短周期なのは6月と7月の5.8秒

Sta. 51028 : 最も長周期なのは4月と5月の7.4秒、最も短周期なのは9月の6.4秒

米国ブイセンター(NDBC: National Data Buoy Center)より引用

波の卓越周期 (二つの海洋ブイ)



卓越周期 (最大エネルギーを有する波の周期)

標準偏差(赤帯), 最大・最小値

Sta. 51004 : 最も長周期なのは2月の11.8秒、最も短周期なのは6月と7月の8.9秒

Sta. 51028 : 最も長周期なのは1月～3月の11.9秒、最も短周期なのは8月の10.4秒

米国ブイセンター(NDBC: National Data Buoy Center)より引用

まとめ (二つの海洋ブイ)

ハワイ近海 (sta. 51004: Southeast Hawaii)

年平均風速は、ハワイ近海の方がやや強い。ハワイ近海では時に強い風が吹く。波では、卓越周期が明瞭に2極分化している。冬季には14秒程度の長周期波が卓越し、更にこの14秒から遠く離れた25秒程度の非常な長周期波が時々入る。アリューシャン低気圧や南極方面から伝播してきたものと推定される。

クリスマス島近海 (sta. 51028: Christmas Island)

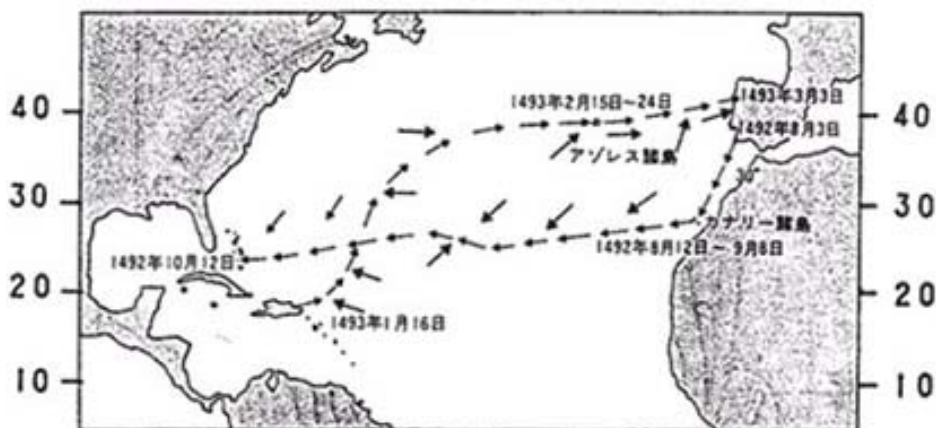
赤道直下。年平均気温は26.1℃であり、ハワイ近海の24.9℃よりやや高い。標準偏差は赤道付近が小さい。風速の変動および、波の季節差も小さい。年間を通してベースとなる波の卓越周期が8～10秒で、14秒付近に二つ目の極大域がある。

まとめ (二つの海洋ブイ)

- 気温の変動はハワイ近海より赤道直下の方が大きい。この理由は、ハワイ近海が1年中、北東貿易風帯にあるのに対して、赤道直下では南北両半球の気流が入るためと考えられる。
- 低緯度海域では風況は概ね安定しているが、稀に強風をもたらすのが熱帯低気圧の接近である。ただし緯度10度未満の赤道付近では、熱帯低気圧の発生や通過はない。
- 風速の極値ではハワイ近海において1986年に10.6 mの記録があるのに対して、赤道直下では2004年の3.8mが最大であり、赤道付近が穏やかであることが波高からも確かめられた。
- 波については、年間を通してベースとなる卓越周期が8~10秒であることや、14秒付近に二つ目の極大域があることは両観測点に共通している。しかし25秒程度の超長周期波については、両海域で差が見られる。

分析に利用したデータは、米国のNDBC(National Data Buoy Center)

コロンブスの航海(大西洋)



コロンブスの最初の航海航路と、そのとき吹いていた風

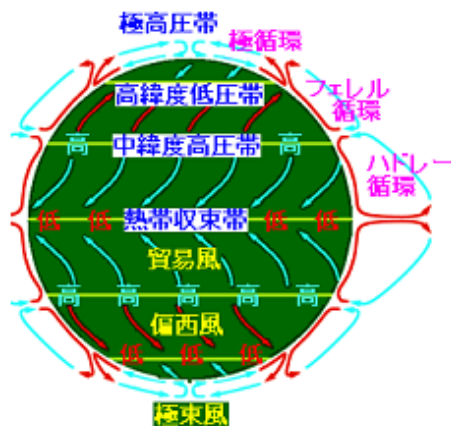
(小倉義光:「一般気象学」、原図はGedzelman, 1980)

1492年コロンブスが帆船で初めて大西洋を横断するのに成功したが、それは北東貿易風を巧みに利用したからであった。アゾレス諸島は、37° Nでスペインのほぼ真西にある。コロンブス以前の人々はアゾレス諸島からさらにまっすぐ西に進もうとして、その緯度帯に卓越する偏西風帯にさまたげられた。

(バイオウエザー:「お天気豆知識」より引用)

三角貿易における風の利用

(コロンブスより少し後の時代、16世紀～19世紀)



(引用元は、左図がWikipedia, 右図がバイオウエザー:「お天気豆知識」)

但し、右図の原図は HANDS-ON METEOROLOGY, American Meteorological Society)

コロンブスの航路に近い航路で大西洋を横断する。ヨーロッパからアフリカ西海岸を南下して赤道を越え、そこで奴隷を積んでアフリカを離れ、南半球の南東貿易風を利用してアメリカに渡る。アメリカから偏西風を利用してヨーロッパへ戻る。

まとめ

・気候値の利用

日射が強い海域、 風が波が平均的に穏やかな海域、
恒常風が吹く海域、 台風が全く来ない海域 など。

・全球モデルは、地球全体をカバー

地球上どこでも、民間会社のサービスを受けられる。

・1ヶ月先までの予報が実用化されつつある

予報精度の改善(初期値、アンサンブル予報)により、
1ヶ月先まで可能になりつつある。

・2か月先、3か月先の予報

現状は、研究途上にある。
鍵は海洋(深いところまでの循環)の水温・塩分、
エルニーニョ予報と連動する。