

近年の土佐湾海風の変化 - 海水温の影響についての考察 -

千葉 修¹⁾

要 旨

黒潮の影響を強く受け高知平野に隣接する土佐湾の水温が、局地風である海風に及ぼす影響を調べるために、ヒートアイランドの影響の小さい高知県の沿岸部の2ヶ所のアメダス地点（安芸、日章）を選んで、2003～2008年の6年間の種々の気象データ解析を行った。これらの近年の結果と土佐湾中央部の海水温データの解析結果と比較し、以下のようなことがわかった。

- (1) 2003～2007年の海風卓越時（9～15時）の6時間平均値解析から、土佐湾の水温は、1月～4月上旬の期間に年とともに上昇を示した。また海風進入が確認された日の気温の最大値出現日（つまり、9～15時の6時間平均値の最大値出現日）が年とともに遅れている。さらに土佐湾の水温と気温の最大値出現日がほぼ同時に変化している可能性が示唆される。
- (2) 2005～2008年の傾向として土佐湾の海面水温が上昇傾向にあるにもかかわらず、むしろ海風進入頻度が増加している。

キーワード：黒潮 海風速度 土佐湾水温 海風進入時刻 海風進入頻度 6時間平均値

1. はじめに

地球温暖化に伴う大気環境の変化が気候変化のみならず、土佐湾の沿岸域の局地気象にも影響を与えると予測される。

ところで土佐湾海水温が約18年前の過去と近年の土佐湾海風の挙動（海風進入時刻や進入速度）に影響しているという研究（千葉・倉掛, 2009）があるが、ここではもう一歩つきすすんで海風進入日の海水温と気温の年変化に言及し、さらに海風の進入頻度についても考究する。なお過去のデータは高知大学農学部農場にある大気境界層観測所（略称ABO）の音波レーダ（ソーダ）で得られた気象要素と安芸のデータで、近年は2003～2008年にわたる安芸と、ABOの約1.1km南西にある日章の2箇所のアメダス地点のデータ解析を行い、その結果と比較した。

2. 解析データの説明

2.1 使用データ

使用データは土佐湾の海岸線に近い安芸、そして15 km内陸にある日章の2003～2008年の気温・風向値（10分値）である（図1を参照）。この2地点はいずれも高知市郊外にあり都市部と郊外の温度差をもたらすヒートアイランドの影響が小さい地域である。なお、日章は高知空港滑走路の中央部付近にあり、2003年1月1日より気象要素の10分値データが配信されている。

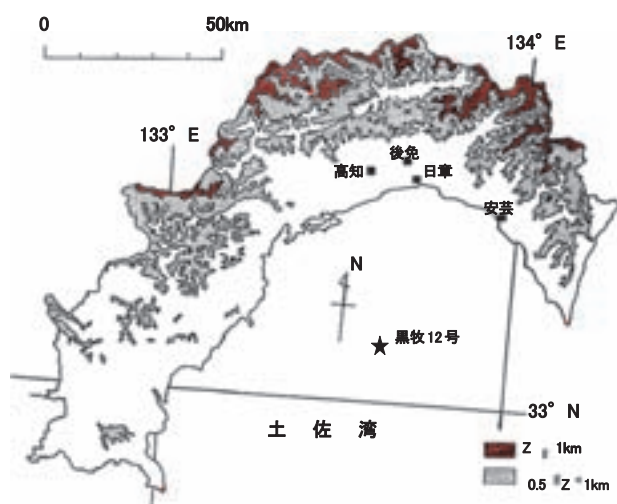


図1. 高知県の地勢.

2009年1月23日受領；2009年2月24日受理

1) 高知大学大学院総合人間自然科学研究科
黒潮圏総合科学専攻 流域圏環境科学
〒780-8520 高知市曙町2-5-1

* 連絡責任者 e-mail address: chibaosa@kochi-u.ac.jp

アメダスデータの他に、安芸の海岸から約50km沖合の土佐湾中央部にある黒潮牧場12号（図1の★点で示すN33° 07.16'，E133° 37.17'）にある浮き漁礁ブイ（高知県水産試験場，2008）で観測された2003～2008年の表層水温値（海面下2m深，1時間毎）を用いた。なお，水温センサーは白金測温抵抗体で，測定範囲-5～45℃，精度±0.02℃，応答速度0.25秒である。

2.2 使用データの採用基準

海風進入日とその進入時刻を決定するために，大規模な大気擾乱（台風や低気圧，前線など）や他の風の影響が少なく，局地風である海風の特徴が強く反映されているデータを選択する必要がある。そのために以下のような採用基準を考慮した。すなわち，海風の進入時の特徴は，①風向シフト，②気温の上昇停止または降下，③風速の増加，④相対湿度の増加にみられるが，この研究ではアメダス風速の分解能が1m/sと粗いこと，上記2地点の相対湿度の取得が不可であることから，①と②に注目し，海風進入時刻を求めた。特に海風前線（海風の先端部）と海風（本体）の進入時刻を識別するために，千葉ほか（1990）及びChiba（1993）にならい，風向が北から移り始める時刻を前線の進入時刻，そして風向が北寄りから南よりに変化し終わって定常状態になった時刻を海風の進入時刻とした。

それから土佐湾の海風は海岸線に近い安芸，平野部の日章，山手の後免の順に進入することを考慮して各地の海風進入時刻の再吟味をした。なお解析手順の詳細は千葉・倉掛（2009）を参照されたい。

3. 解析結果

3.1 事例

図2は日本の東海上の高気圧に覆われ概ね晴れて，日章で海風進入のあった観測事例（2003年11月1日）である。気温上昇が停止（または降下）し，風向シフト（11時10分）の後の11時30分が海風進入時刻（矢印で示す）である。

2.2節の手順で評価した各年の各アメダス地点での海風進入時刻（月毎の年平均値と6年平均値）を地点毎に表1の(a)，(b)にまとめた。アメダス地点への海風進入日の解析日数は，2003年から2008年まで，それぞれ37，47，53，47，51，49日で，合計284日であり，その中で夏季（7～9月）の日数が95日で全体の33.5%を占める。

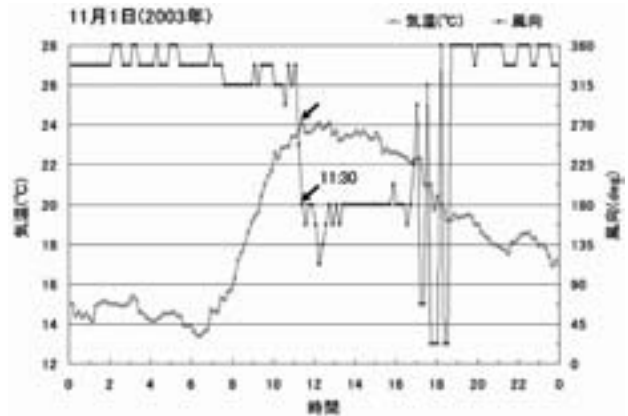


図2. 気温・風向（日章）の10分値時系列。

表1. 海風進入時刻（月毎の年平均時刻）。

安芸								
(a) 年	2003	2004	2005	2006	2007	2008	6年平均値	6年間の総数(月毎)
1月	11:30	11:50	12:05	11:55	10:55	11:00	11:32	11
2月	10:55	11:17	11:30	10:45	10:28	11:03	10:59	17
3月	10:05	9:50	9:48	9:50	10:00	9:45	9:53	25
4月	9:30	9:35	9:21	9:22	9:13	9:08	9:21	33
5月	8:56	9:22	9:08	9:16	9:04	8:52	9:06	30
6月	8:45	9:02	8:53	8:35	8:42	8:43	8:46	21
7月	8:36	8:50	8:42	8:45	8:33	8:17	8:37	29
8月	8:20	8:36	8:31	8:54	8:21	8:20	8:30	46
9月	9:20	9:15	9:15	9:40	9:23	10:00	9:28	20
10月	10:16	10:16	10:30	9:56	10:17	10:50	10:20	16
11月	11:13	11:05	10:42	10:40	11:13	11:15	11:01	22
12月	11:40	12:05	12:10	11:16	11:16	11:23	11:38	14
海風進入日数(年毎)	37	47	53	47	51	49		

日章							
(b) 年	2003	2004	2005	2006	2007	2008	6年平均値
1月	13:30	12:40	12:35	12:30	12:45	13:35	12:55
2月	12:05	11:45	12:20	12:15	12:03	11:28	11:59
3月	11:30	11:30	10:57	11:17	11:07	11:16	11:16
4月	10:53	10:27	10:00	10:46	10:38	10:08	10:28
5月	9:56	10:02	9:48	10:36	9:54	10:07	10:04
6月	9:25	9:48	10:00	10:25	9:57	9:10	9:47
7月	10:20	9:37	9:25	9:57	9:36	9:13	9:41
8月	9:32	9:43	9:41	10:04	9:35	9:18	9:38
9月	10:52	10:15	9:55	10:10	10:26	10:35	10:22
10月	11:30	11:10	11:50	11:30	11:30	10:30	11:20
11月	11:46	12:00	12:08	11:56	11:40	11:40	11:51
12月	13:00	12:25	12:50	12:16	12:03	12:10	12:27

ところで，ここでの解析は一般に100年程度のデータ解析を必要とする気候変化（気候変動）には言及していない。いわば気候変化に関する長期間の記録（全記録を取得していない）よりも1989～1990年（過去）と2003～2008年（近年）の二つの期間を抽出して解析したものである。つまり約18年の間において海風の挙動が主に海水温によって両者がどのように変化したかを比較したのであって，長期間の気候変化を論じていないことを付記する。

3.2 約18年前（過去）の研究例との比較

千葉・倉掛（2009）はABOでのソーダ観測（高度60m）で1989～1990年に得られた海風進入時刻（151日分）と，そして2003～2007年の5年間（海風日235日分）の安芸，日章，後免（海岸線から6.4km）での海風進入時刻を比較検討した。月毎の年平均値として求めた

3地点の海風進入時刻の過去（1989～1990年）と近年（2003～2007年）の比較を図3 (a) - (c) に示す。なお、日章の過去のデータは、その当時観測値が無く、その代わりにABOのデータを、それ以外は1989～1990年の安芸と後免のアメダス10分値データを使用した。

3地点とも総じて夏季に早く、冬季に遅い傾向を示し、進入日数は夏季の方が冬季より頻度が高い。各々の地点で近年の方が遅く、5年平均値として安芸では25.4分、日章では25.8分、そして後免では15分の時間の遅れを示し、総じて過去に比較して15～26分（平均で21分）遅くなっている。

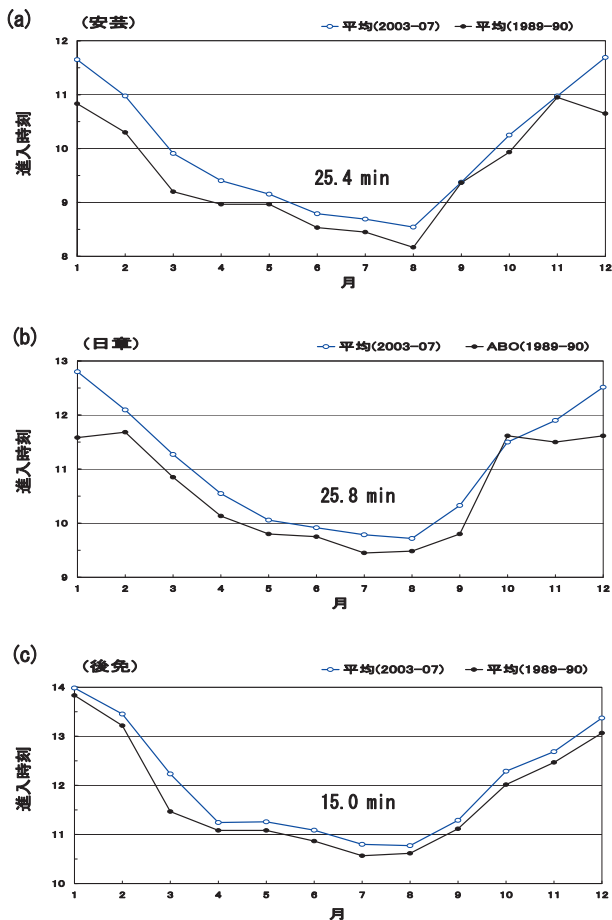


図3. 1989-90年と2003-07年の期間、月毎平均値から求めた3地点 ((a) 安芸, (b) 日章, (c) 後免) の海風進入時刻の年変化.

この理由の一つとして、海水温上昇のため海上気温が上がり、陸上気温が海水温（または海上気温）を上回る時刻が遅れたためと考えられる。

山手の後免では他より遅れが小さいが、Asai and Mitsumoto (1978) が平野部背後に斜面がある場合に海風が増幅されると指摘しているように平地－山地間の谷風が海風より早く発生し、その動きを追走するように海風の進入が促進され、安芸（海岸部）や日章

（平野部）よりも海風が加速したと思われる。

3地点への海風の進入は当然、海岸部の安芸が早く、それに約1時間遅れて日章へ進入し、さらに約2時間程度で後免に達する。

千葉・倉掛（2009）は、土佐湾の海風が円弧状の海岸線から進入するとして、海風進入時刻と3箇所のアメダス観測点の海岸線から距離を考慮して海風進入速度を求めた。結果として、過去は2.9km/hで、近年は3.1km/hで大差はない。

3.3 海風進入日の水温変化

気象庁（2008a）によると、四国・東海沖北部領域では、1900年から現在までの100年間に水温上昇率（ $^{\circ}\text{C}/100\text{年}$ ）は、 $1.26 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ と推定されている。また気象庁（2008b）によれば黒潮大蛇行は1965年以降5回発生し、最近では2004年～2005年8月にみられた蛇行時にも土佐沖の黒潮流軸は大きく偏らず、その主軸の平均的な位置は足摺、室戸の両岬から約46kmに位置している（宮田ほか、1980）。一方、坂本（1981）は1965～1976年の高知県水産試験場が実施した土佐湾表面水温観測結果から、土佐湾の水温が外洋水の影響を強く受け、特に8月が顕著であることを報告しているが、近年黒潮の挙動がどの程度土佐湾の水温変化に関係したかについては今後の課題である。

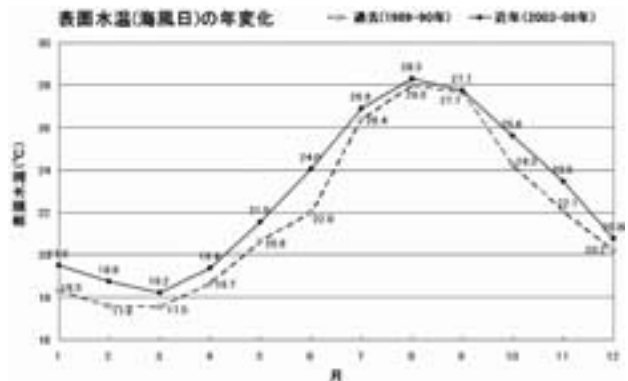


図4. 海風進入日の過去（1989-90年、○印）と近年（2003-08年、●印）の土佐湾表層水温（月毎値）の年変化.

ここでは海風進入日の土佐湾の水温がどのような状況になっているかということに関心を持ち、海風が進入した日の過去（1989～1990年）と近年（2003～2008年）の土佐湾表層水温（月毎平均の年平均値）を比較した（図4）。年間を通じてみると近年の水温が 0.0°C （9月）～ 2.0°C （6月）の幅で過去より高い。夏季（8～9月）にほとんど差はないものの、秋の10月から冬を経て、7月頃まで $0.5\sim 2.0^{\circ}\text{C}$ 近年が高温になっている。

3.4 6時間平均値から得られた近年の土佐湾水温と海風の特徴

図3から3地点の海風進入時刻は夏季の8時半頃から冬季の14時頃まで季節変化している。そこで、これからは海風が進入し、卓越する時間帯として9～15時までの6時間を選び、2005～2008年の水温と2地点の気温の6時間平均値を統計した。なお黒牧12号（土佐湾中央）の表層水温の1時間記録値（時データ）は2005年1月から配信されたものを使用した。

(1) 日章の気温と土佐湾の水温の年変化（2005～2008年）を図5-1と図5-2に示す。この図からわかる特徴は、①2005～2007年の1月～4月上旬までの水温の平均値が17.8℃～19.4℃と年とともに上昇し、次に、②海風進入日の中で6時間平均気温最大値を記録した日（気温の最大値出現日）が年とともに遅れている（例えば、2005年の場合、8月7日の30.4℃、2007年の場合は8月26日の31.2℃）ことの2点とみることができる。

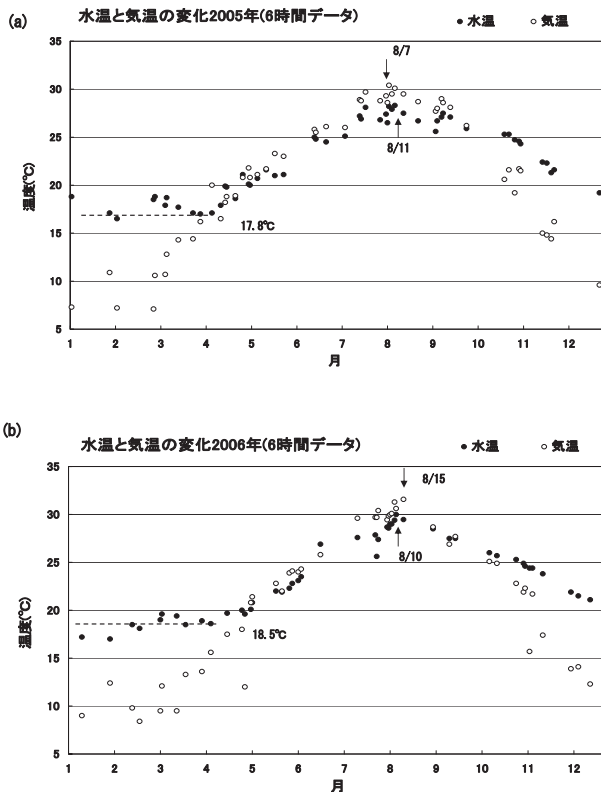


図5-1. 6時間平均値から求めた海風進入日の土佐湾水温と気温（日章）の年変化（(a) 2005年, (b) 2006年）。

6時間平均水温最大値の出現日は気温の最大値出現日より3～5日のずれはあるがほぼ等しく、例えばSimpson（1994）で述べられているように水温のピーク日が気温のそれより約1ヶ月遅れるという傾向にはなかった。また1970～1979年の土佐湾の水温の最高出

現日が、足摺岬と室戸岬の気温から推定した気温の最高出現日より16～23日遅れていたという報告（坂本, 1981）もあり、それらと比較すると近年は海水温と気温のピークの発現がほぼ同時に変化している可能性が示唆される。

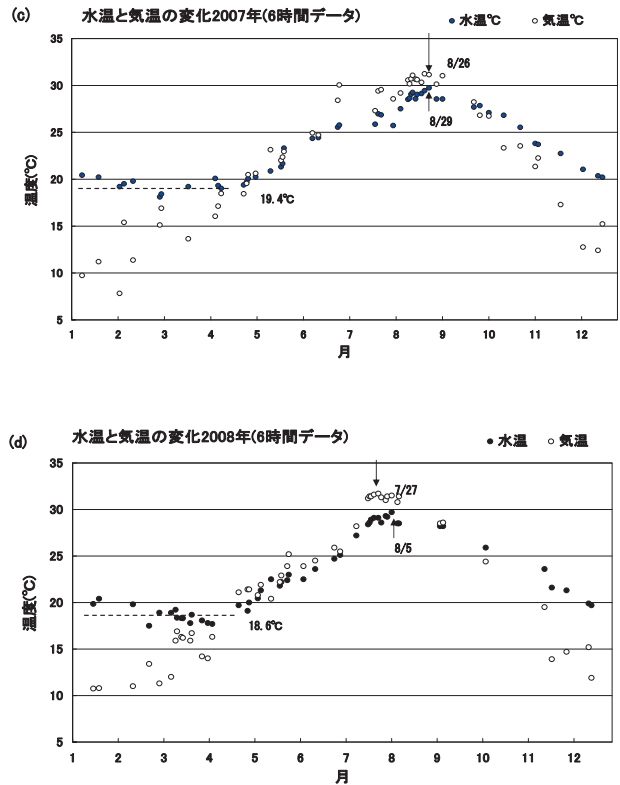


図5-2. (c) 2007年, (d) 2008年 他は図5-1に同じ。

(2) 陸上気温と海上気温の差は海風進入状況を知る上で重要である。一般に陸上気温が海上気温より高いほど海風は入り易い。土佐湾の場合、海上気温が不明であることから海上気温の代わりに海岸線に近い安芸の地上気温を用いた。日章の気温と安芸の気温の差 Δ の隔年変化（2004年, 2006年, 2008年）を図6に示す。

気温差 Δ は正の場合（図6の (a)～(c) の黒丸）と負の場合（白丸）があり、気温差が正である割合を割合=（気温差正の日数）/（海風日の総数）として表すと、2003年の14（=5日/37日）%から2008年の65（=32日/49日）%と変化し、特に近年の3カ年（2006～08年）は増加傾向を示し、海風が進入し易い状況にある（図7）。つまり、土佐湾の海水温上昇により、単純に海風進入頻度が減少するのではなく、最近6年の傾向として海水温上昇傾向にもかかわらず、むしろ海風進入頻度が増加しているといえる。この理由として海水温の上昇傾向がみられる一方で、海岸に近い場所の地上気温の上昇率が高くなっていると推測される。

4. 考察とまとめ

海風の遅れに関して山本（2003）は大阪平野の例をあげ、都市域の加熱によって海風循環が変形し、海風の進入が遅れている（Yoshikado, 1992）と言及している。しかし、今回の解析は都市化が進む人口約34万人（2008年現在）の高知市のデータではなく、土地改変の少ない郊外の人口約5万人以下の市町村に存在する観測点（安芸、日章、後免）でのデータを使用したもので都市化の影響は小さい。

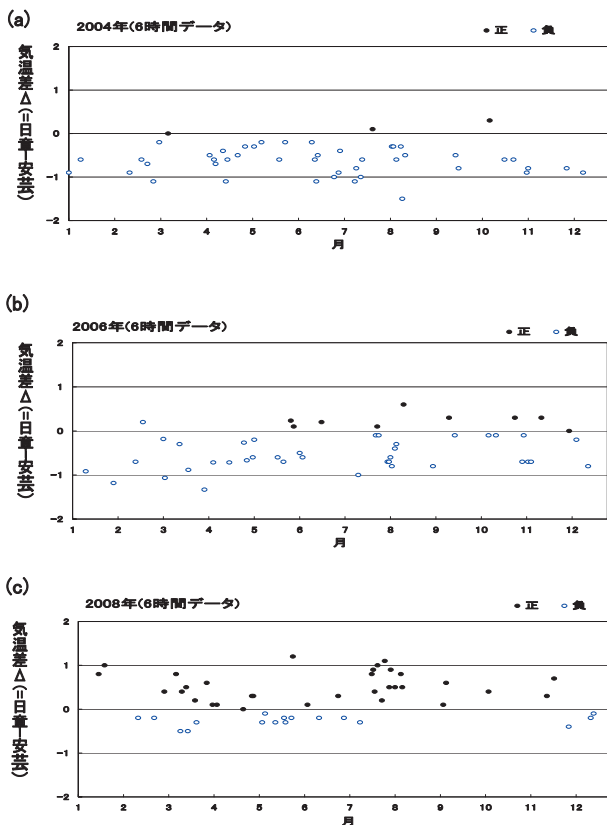


図6. 海風卓越時（9-15時）の6時間平均値から得られた気温差 Δ (=日章の気温-安芸の気温) の隔年変化 (a) 2004年, (b) 2006年, (c) 2008年.

遅れた原因として最も可能性が高いのが黒潮の水温上昇による大気環境の変質で、黒潮流軸に接する土佐湾中央部（黒潮牧場12号）での表層水温の影響が考えられる。つまり、2003～2008年までの表層水温の年変化は7月から9月にかけての時期を除いて全体に上昇傾向にあることを示す。

さらにデータの解析時間を海風卓越時（9～15時）に絞りを絞り、6時間平均値の統計量に注目して海風進入日の水温と気温（日章）の関係を調べた結果、1月～4月上旬の冬～春期間の水温平均値が2005～2007年に17.8℃から19.4℃と1.6℃上昇を示した。この期間、海風進入日の気温の最大値出現日が遅れる傾向を示したが

水温の最大値出現日とのずれはわずかであった。

近年の、特に春季の年毎の水温上昇は、その後続く季節（夏季）の水温に影響を与え、ピーク値出現を早めていると推測することができる。この春季の水温上昇が後の季節に熱量増加として手渡される可能性はある。しかし、2008年のデータ解析（図5-2 (d)）によると気温と水温の最大値出現日が早まっている。2005～2007年の傾向が今後継続するのか、あるいはそれで終息して平常にもどるのか。おそらく、遅れる傾向とそうでない状態を繰り返すのが気候変動の特性と思われる。そして観測事実（図7参照）として海風の進入頻度が海水温上昇にかかわらず増加していることがわかった。

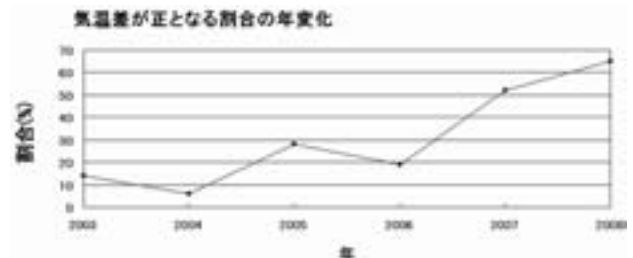


図7. 気温差 Δ が正となる割合の年変化.

このような土佐湾海風の進入時刻の遅れや特性の変化が黒潮の水温上昇と密接な関係にあると推測されるが、他の要因とも考えあわせ総合的な研究を進めることが重要である。

参考文献

- Asai, T. and S. Mitsumoto, 1978: Effect of an inclined land surface on the land and sea breeze circulation: A numerical experiment. J. Meteor. Soc. Japan, 56, 559–570.
- Chiba, O., 1993: The turbulent characteristics in the lowest part of the sea breeze front in the atmospheric surface layer, Boundary – Layer Meteorol., 65, 181–195.
- 千葉 修, 石川明弘, 広田智佳朗, 1990: 接地気層での海風前線の観測 – 海風前線の侵入時刻と前線幅について –, 天気, 37, 415–419.
- 千葉 修, 倉掛容子, 2009: 近年の土佐湾海風の変化 – 約18年前との比較 –, 天気, 56, 印刷中
- 気象庁, 2008a: 海面水温の長期変化傾向 四国 – 東海沖北部. http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/db/kobe/kobe_warm/kobe_warm.html (2008.5.15 閲覧)
- 気象庁, 2008b: 気象統計情報, 海洋の健康診断表 (海

洋の総合情報), 総合診断表, 2.2.2. 黒潮<http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/shindan/sougou/html/2.2.2.html> (2008.9.15 閲覧)

高知県水産試験場, 2008: 高知県漁海況ホームページ,

<http://www.suisan.tosa.prefkochi.lg.jp/> (2008.5.7 閲覧)

宮田和夫, 坂本 久雄, 百田方子, 1980: 土佐湾の海洋構造について - I 土佐湾の潮流, 南西水研報 (南西海区水産研究所研究報告), 12, 115-124.

坂本 久雄, 1981: 土佐湾の海洋構造について - II 表面水温, 南西水研報 (南西海区水産研究所研究報告), 13, 29-40.

天気編集委員会, 2007: 2007年8月の日本の天候, 天気, 54, 907.

Simpson, J. E., 1994: Sea breeze and local wind, Cambridge Univ. Press, 234 pp.

山本勝彦, 2003: 都市温暖化が大阪平野における都市気象に与える影響に関する一考察, 大阪府環境情報センター所報, 23, 29-33.

Yoshikado, H., 1992: Numerical study of the daytime urban effect and its interaction with the sea breeze, J. Appl. Meteorol., 31, 1146-1164.

Recent Change of the Sea Breeze over the Coastal Area of the Tosa Bay

-Consideration about the Influence of the Sea Surface Temperature-

Osamu Chiba*¹

*¹ Graduate School of Kuroshio Science, Kochi University, Japan
Akebono-cho 2-5-1, Kochi 780-8520, Japan

Abstract

In order to investigate the effects of the sea surface temperature (SST) of the Tosa Bay being influenced strongly by the Kuroshio on the behavior of sea breeze over the Kochi plain, 6 years weather data collected from 2003 to 2008 at two AMEDAS observation points of Aki and Nissho having least influences of a heat island effects were analyzed. These recent results are then compared with the analytical results of SST data of Tosa Bay central part, and the following results are found.

(1) From the 6 hours average value analysis at the prevailing time (9:00 to 15:00) of the sea breeze in 2003 to 2007, the rise of SST of the Tosa bay is seen with a year in the period of January to April in 2003 to

2007. Moreover, the maximum temperature appearance day of the day when sea breeze penetration was checked is in the tendency which is overdue with a year. Furthermore, the highest SST appearance day of the Tosa bay is almost equal to the maximum temperature appearance day, and it can be said that SST and air temperature are changing almost simultaneous further.

(2) Although the SST of the Tosa bay has been rising as a tendency for three years (2005 to 2008) recently, the penetration frequency of a sea breeze is increasing rather.

Key word:

Kuroshio ,
Sea breeze velocity,
SST of Tosa Bay,
Penetration time of Sea breeze,
Penetration Frequency of Sea breeze,
6 hours average value of sea breeze day