

## 研究論文

# 高知県須崎市で夏季(7～9月)にみられた気温変化の特徴 －分岐した海風の進入－

千葉 修<sup>1)</sup> \*・古味賢一<sup>2)</sup>

## 要 旨

土佐湾に面する高知県沿岸部の須崎アメダス地点で夏季(7～9月)の日中の気温変化に珍しい二つ山型の形状がみられた。すなわち、正午頃の気温ギャップを中心として、その前後に気温ピークを持つという特徴を示した。この二つ山型の気温変化はアメダスデータの精度(10分値)を考慮すると1995年からみられ、14年間のアメダス気温データの解析から夏季に約10日/1年の割合で出現している。その出現状況を吟味し、その原因を検討した結果、「分岐した海風」が須崎の南西方向から遅れて進入したことによると考えられる。

キーワード：気温変化 須崎市 分岐した海風 土佐湾海風 Southerly buster

## 1. はじめに

平坦な地形での地上気温は、一般に朝方から上昇し昼過ぎに最大となり、そして夕方には下降する、いわゆる一つ山型の日変化を示す。ところで高知市の中心部から約34km南西にある須崎アメダス地点(図1)で、夏季(7～9月)の期間に「二つ山型」の特徴的な気温変化が観測された。須崎アメダス地点(33.39°N, 133.28°E)は土佐湾に面する高知県中部の沿岸部にあり、標高4mのJR土佐新荘駅より東に50mの空き地にある(図1の拡大図の●印)。

本研究の目的は1995年から2008年までの14年間の夏季の須崎のアメダスデータに着目して二つ山型の気温変化の出現状況に言及し、その原因を解明することにある。

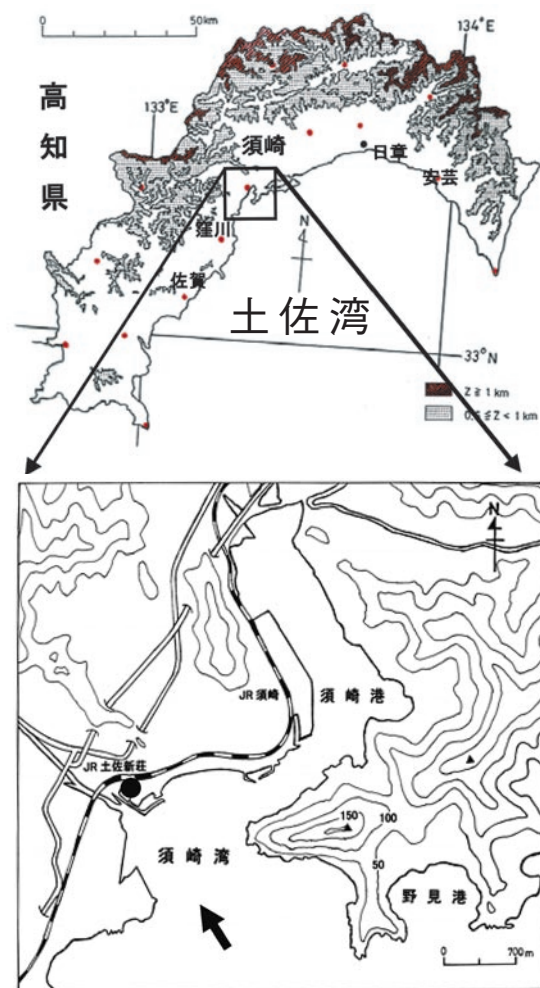


図1 須崎の拡大図とアメダス地点(●印)(太い矢印は須崎への海風の卓越風向、等高線は50m毎)。

2009年11月8日受領；2009年12月15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

2) 高知大学理学部  
〒780-8520 高知市曙町2-5-1

\* 連絡責任者 TEL: 027-657-6130

## 2. データ解析

### 2.1 使用データ

気象庁のホームページより主に須崎アメダス地点のデータを、そして他に高知県沿岸部の3地点（安芸、南国日章、佐賀）と内陸部の窪川の気温、降水量、風向、風速、日照時間の5要素の10分値をも比較のために用いた。採用したデータの条件として、①降水が無い日、②海陸風循環のある日、③天気図を参考に概ね高気圧に覆われ、大気擾乱（台風や低気圧、前線など）や他の風の影響が少ない穏やかな晴天日を選択し、須崎の気温日変化を年別の夏季（7～9月）の期間に限って解析した。なお、須崎アメダスの気象要素の10分値は、1994年4月1日より気象庁Web siteから配信されている。また、須崎と他の沿岸部との結果を比較することで地域差を、そして二つ山型の気温変化の有無を吟味して、その違いを考察する一助とした。

### 2.2 解析事例（須崎2003年8月の場合）

図2は2003年8月に須崎で二つ山型が観測された1, 2, 4, 5, 6, 10, 19, 20, 27日の9事例を重ね合わせた気温時系列を示す。ギャップ（G）時刻の平均値が12時4分で、その前後の時刻に各々のピークをもち、ほぼ同じ日変化をしているのが分かる。すなわち、日出後日射により気温が上昇し、海風が進入する9時頃に気温上昇が停止する。それから正午前（12時頃）まで気温が降下しはじめ、正午過ぎに溝（ギャップ）を形成する。その後再び上昇し14時過ぎに日最高気温となり、日没に向かうにつれ気温降下していくという特徴がみられる。なお日中の海風卓越時の風向は定常的に南南東（SSE）寄りであった（図1の拡大図の矢印）。

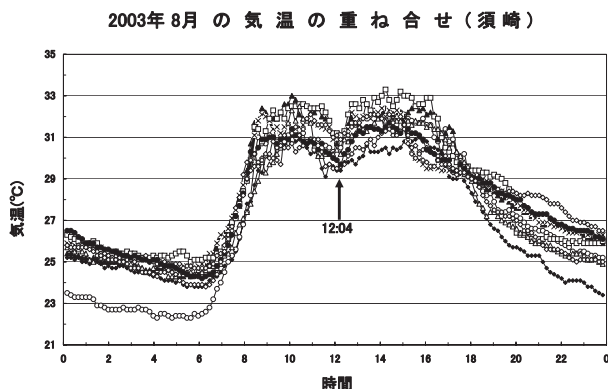


図2 二つ山型の気温変化（↑はギャップを示す）。

### 2.3 過去の事例と他地点との比較

過去との比較のために1995～2008年にわたる夏季（7～9月）の期間のみ須崎にみられた二つ山型の気温の出現頻度（総数136日）を表1にまとめるとともに図3に示す。なお解析結果には図2でみられたようなG時刻を中心に左右対称とは異なる例もあった。表1より1997～2006年の期間は他の年より頻度が高く、9～15日で分布している。月別では8月の出現日数が54日と他の月より多く、さらに2003年（冷夏の年）の8月では最頻値（9日）をとるが、概して規則的な年変化はみられない。

年	7月	8月	9月	総日数(日)
1995	1	2	1	4
1996	1	1	2	4
1997	2	5	7	14
1998	3	6	4	13
1999	2	5	3	10
2000	5	3	4	12
2001	4	6	5	15
2002	5	2	2	9
2003	1	9	4	14
2004	3	4	4	11
2005	1	3	5	9
2006	3	4	4	11
2007	0	2	1	3
2008	2	2	3	7
総日数(日)	33	54	49	136

表1 二つ山型の出現日数（年毎、月毎）のまとめ。

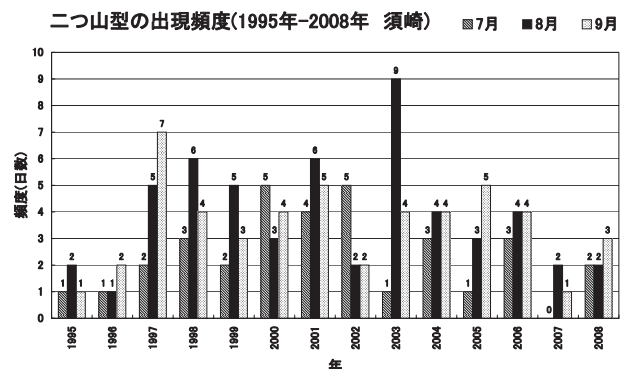


図3 14年間（1995～2008年）の出現頻度分布（7～9月）。

高知県の土佐湾沿岸部のアメダス地点には須崎以外にも、佐賀、南国日章、安芸がある（図1参照のこと）。

図4に須崎と他の3地点の2006年8月の4事例

(1, 2, 3, 4日)の平均した気温時系列を示す。これらの3地点の気温変化は一つ山型で、須崎で見られたような二つ山型の特徴のある気温変化はなかった。6～8時までの4地点の気温上昇率は $(5.0\sim 6.1) \times 10^{-4}$  (°C/sec)で大差はない。しかし、8時過ぎからは須崎の気温上昇率は著しい。これより、二つ山型の気温変化は須崎の周辺環境に関連し、そして海風の影響下での須崎特有の現象と推測される。

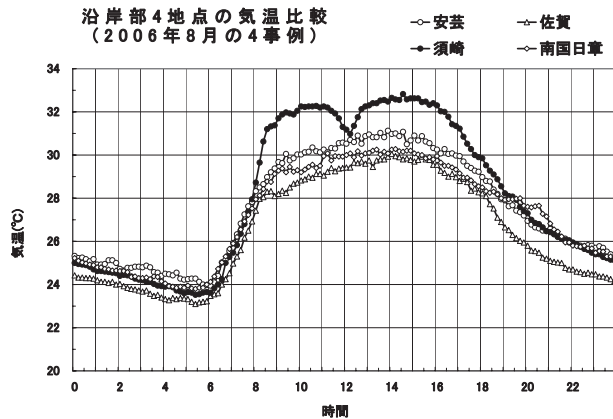


図4 沿岸部4地点の気温比較。

### 3. 二つ山型の気温変化について

このような特徴を持つ気温変化の出現状況と原因について以下の(1)～(3)で検討、考察する。

(1)須崎のアメダス温度計の吟味（つまり、正確に温度測定がなされているかの問題）

2007年3月26日と2008年8月1～2日に現地で基準温度計であるアスマン通風乾湿温度計とアメダス付置の白金抵抗温度計による気温の比較観測を実施した。海風の進入が確認された2008年8月2日の結果を図5に示す。

9時～12時まで両方の気温の大きさに多少の差はみ

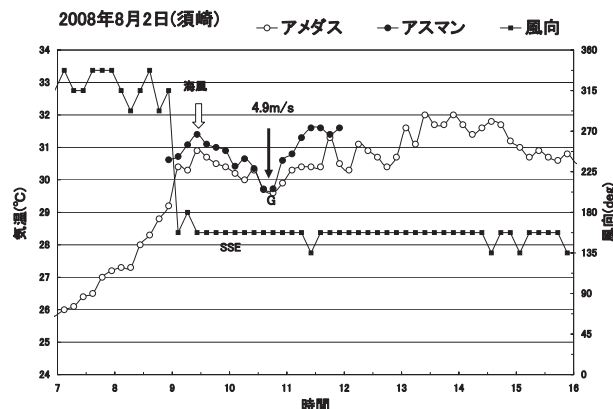


図5 須崎での比較観測（2008/08/02）。

られるが、9時30分（白矢印）の海風進入とともに気温が下降し、10時40分にはギャップG（矢印）がみられ、そして気温が上昇する変化傾向は同じで、アメダス温度には特に問題はない。なお、10時40分に気温低下に関連した南南東（SSE）からの比較的冷たい強い風（瞬間風速4.9m/s）を観測した。

(2)須崎湾の潮汐変動（潮の干満）に対応した気温変化

潮の干満に応じて須崎湾にも水位変化がある。特に夏季の表面水温は満潮時には湾口部への外洋からの流れ、一方干潮時には下層からの湧昇流が低水温をもたらす可能性がある（近藤，2008年，私信）。

ある地点の気温 $T$ の時間変化 $(\partial T / \partial t)$ は、気温変化の式(1)で表される。つまり、

$$\partial T / \partial t = (\partial T / \partial t)_{\text{放射}} + (\partial T / \partial t)_{\text{乱流}} + (\partial T / \partial t)_{\text{潜熱}} + (\partial T / \partial t)_{\text{移流}} \cdots (1)$$

ただし、 $(\partial T / \partial t)_{\text{放射}}$ は大気自身の放射による加熱率、 $(\partial T / \partial t)_{\text{乱流}}$ は乱流による顕熱の加熱率、 $(\partial T / \partial t)_{\text{潜熱}}$ は蒸発の潜熱による加熱率、そして $(\partial T / \partial t)_{\text{移流}}$ は水平移流による加熱率である。晴天時の海風を考えると、放射熱、顕熱及び潜熱より移流 $(\partial T / \partial t)_{\text{移流}} = -u (\partial T / \partial x)$ の影響が大きい。なお、 $u$ は $x$ （主風向）方向の風速である。

海風卓越時には須崎アメダス地点の風上に湾口が存在する（図1の須崎拡大図参照）から、その湾内が満潮によって持ちこまれた広く冷たい領域であれば、その上を南寄りの風が移流することで気温低下をもたらす可能性がある。高知港や須崎港の水位変化が日によって満潮、干潮時刻も異なることから気温変化に相違がみられるはずである。しかし、図2で示した9事例の気温変化は殆ど同じ山型の形を示し、ほぼ一定のG時刻（平均で12時4分）をとる。このことを潮汐変化からでは説明しがたい。

(3)分岐した海風の進入について

ここからは頻度が高かった8月のデータ（表2）に基づいて言及する。須崎に進入する8月の海風の主風向は定常的な南南東（SSE）で、進入時刻はおよそ9時頃である。それから約3時間のちの12時頃に問題の気温ギャップが見られた。この事実は9時頃の海風流入とは別に12時頃に海側から冷気が流入したことを意味している。

ここで須崎から佐賀方面へ南西方向を地形的に眺めると須崎－佐賀間の海岸線に沿って200～300mの高地（山岳）が南西に走向している（図6参照）。一方、内陸の窪川付近（▲印）は標高205mの高地にあるため土佐湾海風が山岳の地理的な障壁効果などの影響を受けてその進入が妨げられる。従って、海風が窪川の



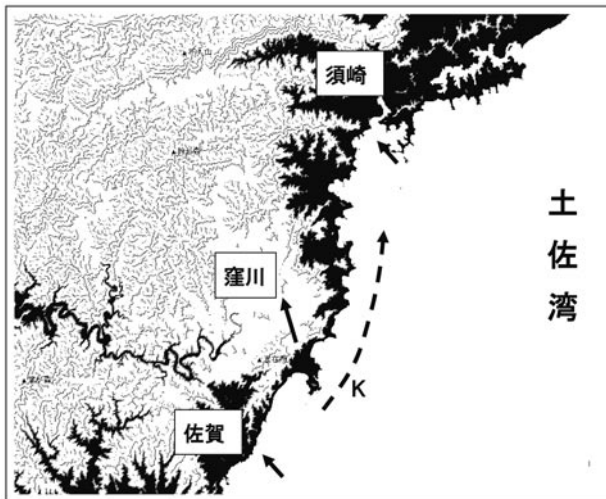


図6 土佐湾をめぐる須崎、窪川、佐賀の位置（K付き矢印は推定される分岐した海風、黒色部は標高200m以下）。

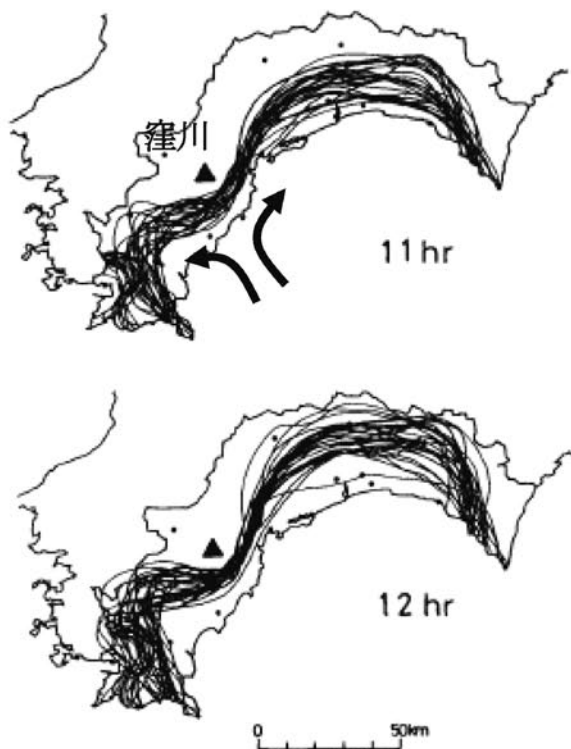


図7 土佐湾からの海風進入図。ただし、夏季の11時と12時での進入状況（千葉ほか，1993に矢印加筆）。

背後に及ぶことが少なく、南西－北東方向に分岐している可能性を千葉ほか（1993）は指摘している（図7の海風進入図の矢印）。さらに山岳の地形の役割について山岳が存在するとそこに冷気が溜まり（cold-air damming）、海岸線付近に高圧部をつくるという（力学的な）障壁効果も考えられる（伊藤，1995）。

海岸線に平行な山岳に沿って吹く局地風の例として Southerly busterがよく知られている（図8，Simpson，1987）。オーストラリアの南東部に海岸線に沿って山

脈が走り、暖候期（春と夏）にここを寒冷前線が通過する時、先端部で変形して急激な南よりの強風が起こる（Colquhoun et al., 1985）。窪川付近の高地に沿って海岸線に平行に北東に吹くと推測される風（図6のK付きの破線矢印）は、busterとスケールやメカニズムに違いはあるが、共に山岳の地形的な影響を受けている共通点がある。すなわち、推定される風は南東方向から進入した海風が山岳の影響を受け、「分岐した海風」と考えられる。

表2に二つ山型がみられた1995～2008年の8月分（総日数54日）の須崎、佐賀への海風進入時刻やG-時刻、それに対応した気温、そして窪川の風向などを整理した。これから8月の土佐湾海風進入時の平均的な様相が模式的に描ける（図9）。沿岸部にある佐賀は須崎と同様、海風の進入時刻もほぼ9時頃である。須崎と佐賀への海風進入方向は各々 $145^{\circ}$ 、 $126^{\circ}$ であるのに窪川の風向は $175^{\circ}$ と海岸線に直交せず南寄りである。さらに注目するのは須崎の海風時の気温と佐賀のそれとの気温差が $2.7^{\circ}\text{C}$ あり、須崎の方が高温で佐賀の方が低温であった。つまり、図6に描いた推測されるKの風は冷気流（重力流）の性質を帯びていると考えられる。もし、コリオリ力の影響が考慮されるなら、その力が東向きに働くため障壁効果とともに海風を北東方向に偏向させるのに好都合な状況にある。

#### 4. まとめと考察

土佐湾に面する高知県沿岸部の須崎アメダス地点の日中の気温変化（1995～2008年のデータ）に珍しい二つ山型の変化がみられた。その特徴は9時過ぎに南南東（SSE）の海風が進入し、そして12時過ぎに気温ギャップが出現し、その後対流混合によって気温上昇するという二つ山型を示す。

その出現状況に言及し、その原因を解明するために、まず①アメダス温度計を吟味し、②須崎湾の潮位変動の影響を検討した。温度計による気温測定に問題がなかったことと潮位変化からは二つ山型の出現の説明が難しいと結論した。

最後に須崎を含めた南西域の地形と山岳の存在が窪川方面に進入する海風に影響を与える可能性について言及した。つまり、須崎沖（土佐湾沿岸域）の状況を考慮すると、ギャップの原因は、須崎沖を吹き渡る「分岐した海風」、つまり須崎に9時頃に恒常的に進入する海風に対して約3時間おくれて佐賀方面から須崎に到着した「遅れた冷たい風」とみなせる。

海風進入時刻の9時頃から、二つ山型の気温変化の

表2 1995～2008年の8月のまとめ.

年	(時刻)			(気温 °C)					
	海風進入時刻		G-時刻	海風進入時気温		G-時刻の気温	気温差	*風向(deg)	個数
	須崎	佐賀(S)	須崎のみ	須崎	佐賀	須崎のみ	須崎-佐賀	窪川(S時-12時)	
1995	9:20	9:45	11:50	30.7	30.9	30.4	-0.2	207.5	2
1996	9:20	8:30	12:20	29.9	29.0	30.5	0.9	61.4	1
1997	9:22	9:02	12:11	30.7	27.3	29.7	3.4	212.3	5
1998	9:05	9:22	12:11	32.7	31.4	32.8	1.3	189.1	6
1999	9:34	9:10	12:16	31.0	27.9	30.2	3.1	166.0	5
2000	9:03	9:00	12:06	31.2	27.5	30.2	3.7	136.0	3
2001	9:26	9:21	12:15	32.0	28.5	30.8	3.5	163.0	6
2002	8:55	8:40	12:15	31.4	28.0	31.6	3.4	189.0	2
2003	9:16	9:07	12:04	31.2	27.5	30.3	3.7	170.2	9
2004	9:30	9:15	12:15	31.2	27.8	30.2	3.4	176.0	4
2005	9:30	8:45	12:00	32.0	26.7	30.0	5.3	207.0	3
2006	9:07	9:07	12:20	31.9	28.2	31.0	3.7	168.8	4
2007	9:10	8:45	12:10	29.8	28.6	29.9	1.2	180.0	2
2008	9:40	8:55	12:05	30.8	30.3	30.5	0.5	218.0	2
平均	9:18	9:03	12:09	31.2	28.5	30.6	2.7	174.6	3.9
標準偏差	0:13	0:19	0:08	0.8	1.4	0.8	1.6	39.7	2.2
総数									54

\*風向 (deg) は佐賀への海風進入時刻 (S) から12時までの平均.

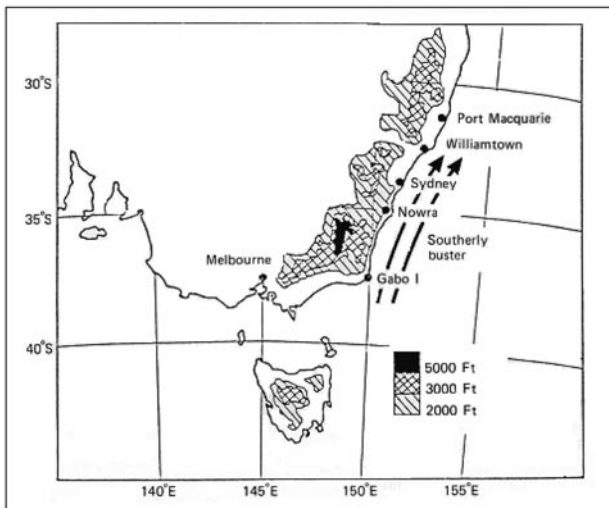


図8 Southerly buster (Simpson, 1987).

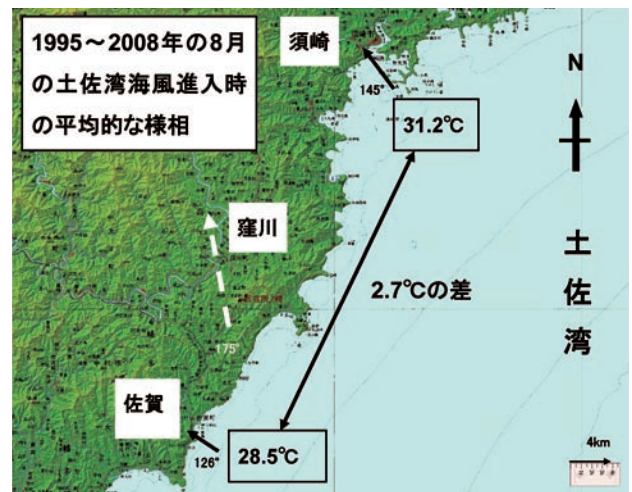


図9 8月の海風進入時の平均的な模式図.

ギャップが見られた12時までの3時間差を考慮して、「分岐して遅れた海風」の速さの概算を試みる。佐賀沖から海上を経由して須崎に至る距離は約40kmで、これを3時間で割り算すると、 $40000 / (3 \times 60 \times 60) = 3.7 \text{ m/s}$ となる。

一方、海風時の須崎と佐賀の気温差 $2.7^\circ\text{C}$ （表2参照）でもたらされる北東向きの流れ（重力流）を想定すると、その速さ $U$ は、 $U = k (2 \times (\Delta T / T) \times gh)^{1/2}$ と表せる（Simpson, 1969）。 $k=0.72$ 、 $\Delta T=2.7^\circ\text{C}$ 、平均気温 $T=300\text{K}$ 、 $g$ （重力加速度） $=9.8 \text{ m/s}^2$ 、流れの厚さ $h=300\text{m}$ ならば、 $U=3.7 \text{ m/s}$ であり、この値は海風の速度として一般的な値である。遅れた海風の発生には、ある程度の気温差が必要なのかも知れない。この遅れた海風（図6のKの風）の存在を確認するためには、今後、土佐湾海上での観測の立場からのアプローチが重要である。

## 謝辞

近藤純正氏（東北大学名誉教授）には温度測定や潮位変動の影響についてのご教示を頂いた。謝してお礼申し上げます。

## 文献

- ・千葉 修・金堂由起・川村学史, 1993: 高知県における海風の特徴, 天気, 40巻, 2号, 109-117.
- ・Colquhoun, J. R., D. J. Shepherd, C. E. Coulman, R. K. Smith and K. McInnes, 1985: The Southerly buster of south eastern Australia: An orographically forced cold front. Mon. Wea. Rev., 113, 2090-2170.
- ・伊藤 久徳, 1995: 近畿地方の広域海風に関する数値実験, 天気, 92巻, 1号, 17-27.
- ・Simpson, J. E., 1969: A comparison between laboratory and atmospheric density currents. Quart. J. R. Met. Soc., 95, 758-765.
- ・Simpson, J. E., 1987: Gravity currents: In the Environmental Laboratory, Ellis Horwood, 244 pp

The characteristic temperature change found at Susaki-city, Kochi prefecture in the summer season (from July to September)

—Penetration of “branched sea breeze”—

Osamu Chiba

\*<sup>1</sup> Graduate School of Kuroshio Science, Kochi University, Japan

Ken-ichi Komi

Faculty of Science, Kochi University

Akebono-cho 2-5-1, Kochi, 780-8520, Japan

## Abstract

A new two mountain-type form was found in temperature change of the daytime of a summer (from July to September) at the Susaki AMeDAS point of the Kochi area along the shore facing the Tosa bay. That is, the characteristic of having a temperature peak before and after that centering on the temperature gap at about noon was found.

Taking into account the precision of the AMeDAS data (10 min data), this two mountain type temperature change was found from 1995, and has appeared at a rate for about ten days / one year from the analysis of the AMeDAS temperature data for 14 years in the summer. Examining the appearance situation and as a result of considering its cause, it would be due to the “branched” sea breeze which advanced behind in time from southwest area of Susaki.

## Key word:

Temperature change  
Susaki city  
Branched sea breeze  
Sea breeze of Tosa Bay  
Southerly buster