

## 総 説

# 四国の山岳気象

千葉 修<sup>1)</sup>

### 要 旨

南に高温湿潤な黒潮の影響を強く受ける土佐湾を有し、中央部に四国山地を有する四国の気象には、海洋と山岳の地形の影響が色濃く反映する。従来は海に向けられていた観点を山岳域に転じて、主に4つの気象事例から見出された山岳の気象特性に言及した。顕著な局地風である海陸風と大気擾乱に伴う強風の特徴もみられる。また一方、小循環風系がより大きなスケールの影響を受け、多彩な山岳の気象が形成されていることがわかる。

キーワード：四国の地勢，四国の風系，山岳のフェーン，収束・合流，雄大積雲，剣山の局地風

## 1. はじめに

黒潮域周辺の気象を考える場合、黒潮という高温・湿潤な海流から大気に供給される大量の熱と水蒸気量があり、それらが大気構造にどのように影響しているかの研究は過去になされてきている（例えば梅雨前線の形成や南岸低気圧の発達など）。それだけ黒潮域は「亜熱帯湿潤気候域」を考える上で大きな役割を占めている。黒潮に沿う日本列島西南部の沿岸域は顕著な局地風である海陸風が吹いている。土佐湾沿岸域・平野部もそうであるが、その範囲は狭く周囲に山岳域が控えている。山岳地における風は地形の複雑な起伏の

影響を受けやすく、風向の急変や収束・合流によって強化された風災害が発生している（一例として、泉ほか、1998）。そこで視点を山岳域の気象に向けて、四国に近年に発生した風災害や、山岳上空の雲の動態の観察などから、いずれも大気現象の中規模（メソスケール）に属する4つの事例に限定して、そこから見えてくる四国の山岳域に特有の気象特性を述べたい。

それには先ず四国の地勢（図1）を考慮しなければならない。四国は北側に瀬戸内海、紀伊・豊後の東西の両水道と土佐湾に接する太平洋に囲まれ、その総面積は18808 km<sup>2</sup>である。中心部には南西 - 北東に走る脊梁山脈（四国山地）があり、標高1200 m以上の領

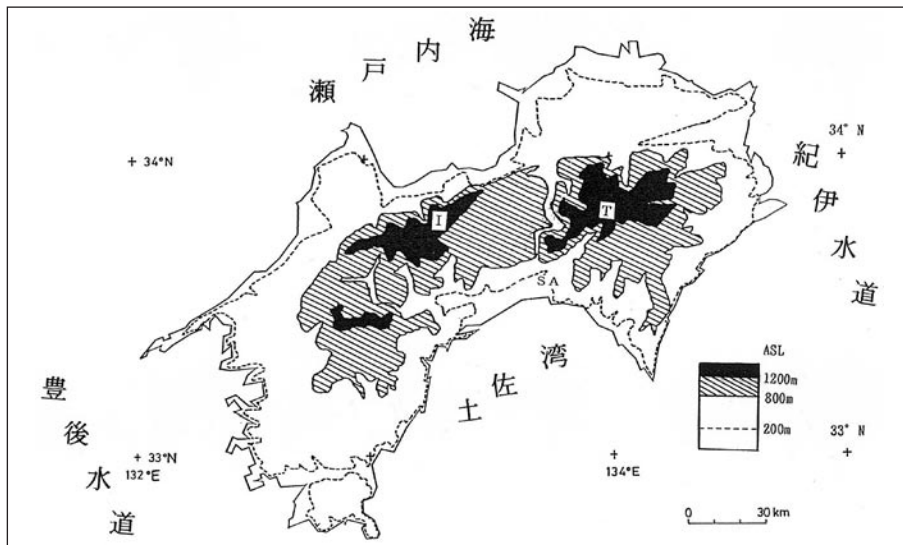


図1 四国の地勢

2007年1月31日受領；2007年2月24日受理

1) 高知大学大学院黒潮圏海洋科学研究科  
流域圏環境科学講座  
〒780-8520高知市曙町2-5-1  
e-mail address: chibaosa@kochi-u.ac.jp

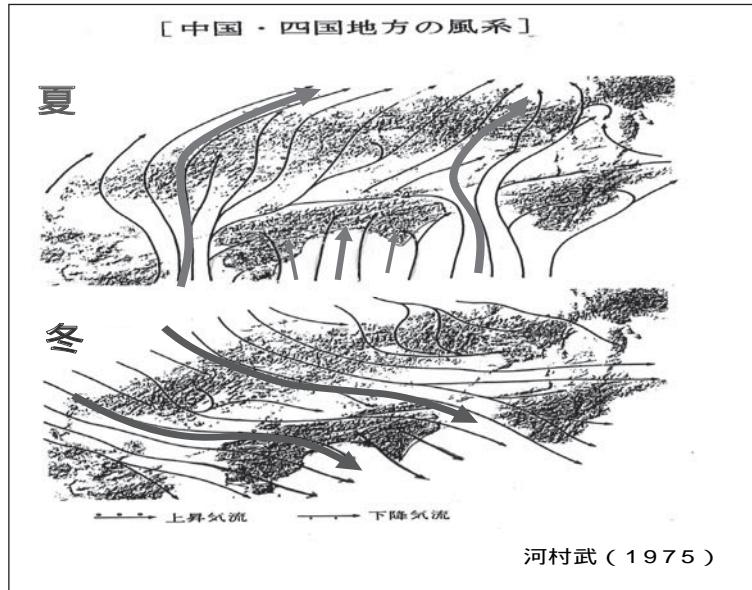


図2 中国・四国の夏と冬の風系

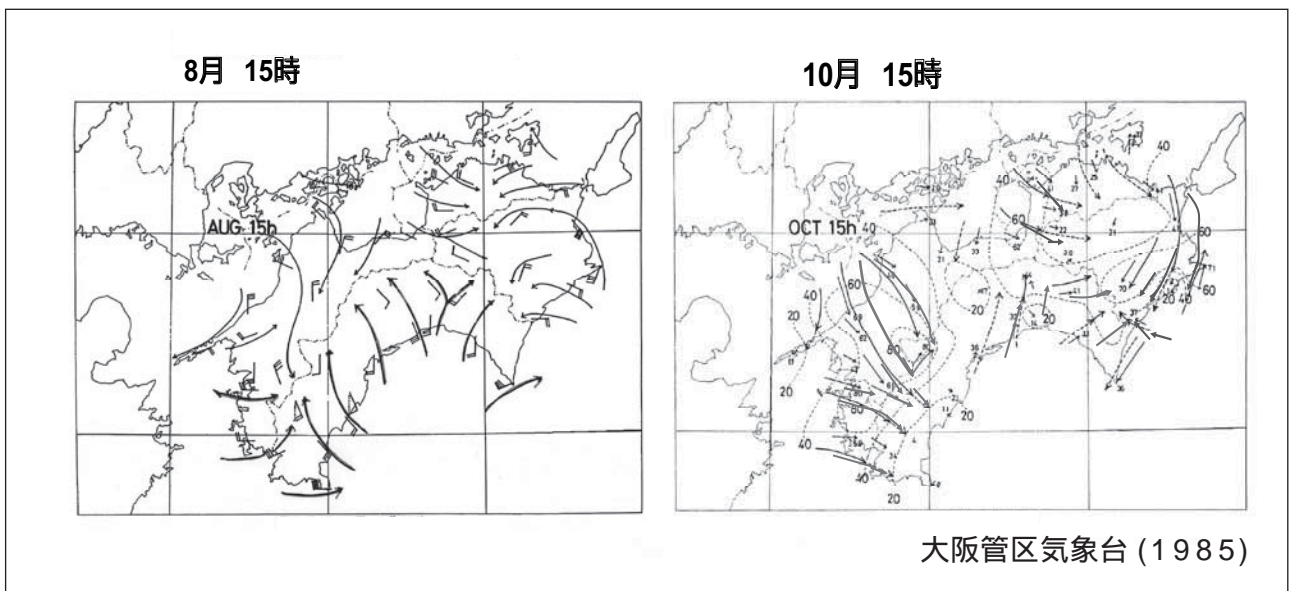


図3 四国の夏と秋の風系

域に各々石鎚山 (I, 標高1982 m) と剣山 (T, 標高1955 m) が含まれる。

四国には気象庁設置の41の5気象要素観測のアメダス地点 (高知県14, 愛媛県13, 徳島県8, 香川県6) があり, 室戸岬には気象レーダーと, さらに2007年からはドップラーレーダーが同箇所に設置予定である。それから高層観測用のウインドプロファイラーが高松, 高知, 土佐清水にあり高層の大気構造の理解に役立っている。四国の風系について気象学的に調べられた2つの研究例をつぎに示す。図2は中国・四国地方における夏と冬の風系であり, 夏は太平洋からの海風が土佐湾と, 豊後水道と紀伊水道を通過するのが顕著である。一方, 冬は関門海峡から流入する北西季節風が目

立つ (河村, 1975)。

大阪管区气象台 (1985) によると, 8月 (夏) と10月 (秋) の15時の四国の風ベクトル (図3) は土佐湾を中心に豊後・紀伊の両水道からの海風の進入を示す。そしてその流れが合流・収束することで, 各々愛媛 - 高知と, 高知 - 徳島の県境の山地に雲がしやすい。

## 2. 高知県高岡郡大豊町立川下名 (しもみょう) で発生した突風被害

高知自動車道で四国山岳域を突き抜ける大規模な車線拡張工事が行われてきたが, その工事現場で突風に

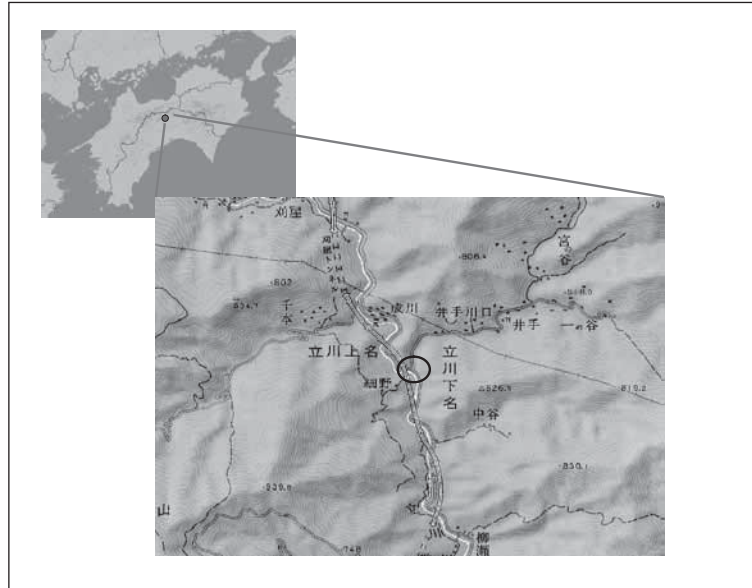


図4 大豊町立川下名（印）



図5a 被害現場（印で囲った部分が被害現場のP5）  
右上が北

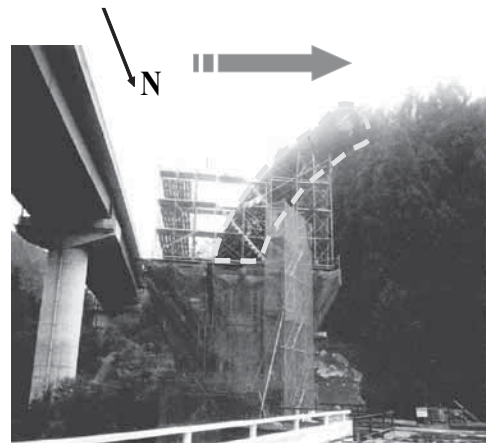


図5b 東斜面（矢印）に傾斜した足組み  
（破線で示す）

よと思われる被害が2002年10月28日夜から29日早朝にかけて大豊町付近で発生した。すなわち、高知県北部の山岳域にある立川下名（しもみょう）の高速道橋脚用足場が突風によって倒壊した。工事関係者が実施した橋脚への加重評価によれば、25～30m/sに相当する西風が吹いたことにより鉄筋の降伏が生じたと見積もられた（南，2003）

## 2.1 突風災害発生現場

現場の大豊町立川下名は愛媛県と徳島県の県境にも近く、周囲は急峻な山岳に囲まれている。現場周辺の標高は約320mで南北に峡谷が伸びており、それに直行する方向（東西方向）に山岳がある（図4）。そこでは高知自動車道の車線拡張工事が行われ、高速道路は

南北に伸びた地形に沿うように立川沿いの急峻な山腹斜面を通っている（図5a）。この橋脚工事で使用していた円筒状の足組（直径約4m、高さ約14m）が東側斜面に倒れこむように大きく傾斜していた（図5b）

## 2.2 気象学的検証

### ・高層気象

2002年10月28日21時の東経130度線上の風速・気温・相当温位の高層断面図（図6a）から福岡（図6aに示したF）上空、高度10km付近に西寄りのジェット流の強風（風速60m/s）軸があり、さらに2～3km高度（図6aに示した四角枠）には20～30m/sの北西風が吹いている。高知のウインドプロファイラーによる風ベクトルの鉛直断面図（図6b）は19時～20時に高度2kmで約25m/

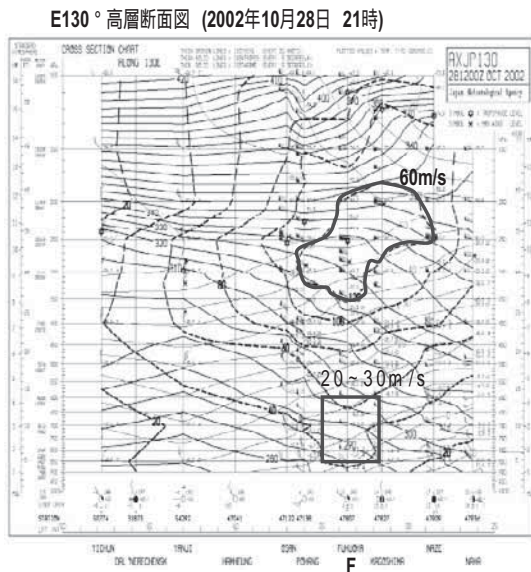


図6a E130°高層断面図

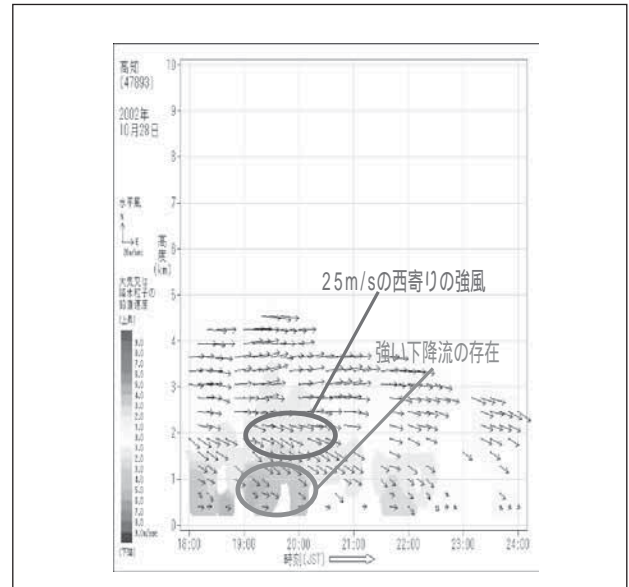


図6b 高知のWind Profiler Data

sの西寄りの強風とその下で下降流の存在を示す。なお、20時で降水量5mm、湿度83%であった。なお、福岡の温位の鉛直分布は高度2000m以上では安定な大気状態を示していた。

2002年10月29日3時の地上天気図（図7）は西の高気圧，東に低気圧の時季はずれの西高東低の冬型の気圧配置を示していた。サハリン付近の低気圧（992hPa）の東進につれ中国大陸にある高気圧（1026hPa）が南東方向に移動中である。

### ・地上気象

一般に高気圧が張り出すと四国山地を越えて寒気の流入があり，そのため高知平野部では西寄りの季節風が卓越する。10月28日夜半から四国西部（愛媛県の新居浜と三島）では20時～22時に7～8m/sの強い西風が卓越し，翌日の早朝には北寄りに向きを変えた。このとき風は山越え気流（おろし）の性質を帯び，石鎚山系と剣山山系の鞍部付近を吹き抜けて高知平野に流出した。

現場（図5aのP5）に最も近いアメダス地点の本山では，南西からの暖気移流のあと，高気圧前面（図7）に位置したことから北東からの冷気が流れこんでいた（前線通過とは違う）。橋脚現場は川之江から立川，そして大豊方面へと南下する経路にあり，狭隘なV字型の谷筋に沿った気流が考えられる（図4）。すなわち，風が狭い峡谷から開けた平野に吹き抜けるとき，峡谷の狭い所で気流が絞りこむように収束強化されて強風になったものと推測される（地形による気流の強制収束）。

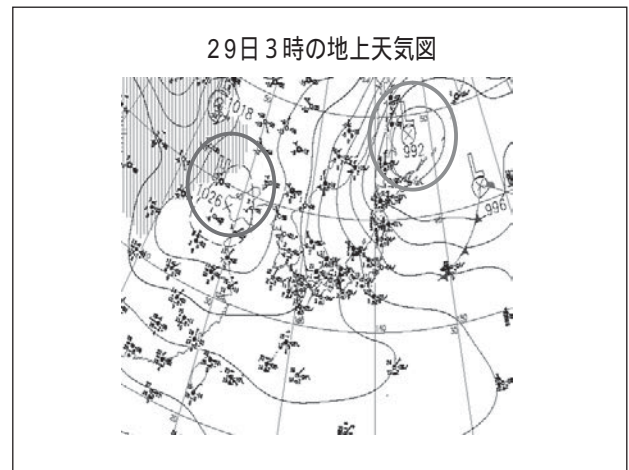


図7 10月29日3時の地上天気図

当日現場（P5）での風観測が無いので，P5から南南東9kmにある「ユトリストパーク」（大豊町の中村大王，杖立山山腹，標高750m）の風速値を利用し，現場P5での風速値を推定した。つまり，被害発生日（10/28～10/29）後，P5に風速計が設置され，11/12～12/10の期間中にP5で観測された最大瞬間風速値と「ユトリストパーク」の最大風速値（10分間平均風速の中での最大値）とを比較したのが図8である（村上，2004）。

その関係式は  $P5MAX - U = 0.42 \times \text{ユトリスト} - U + 4.1$  ( $r=0.62$ ) と求めた。被害のあった時のユトリストでの最大風速値は10m/sであったので，この値を上式に代入すると，P5では  $U = 0.42 \times 10 + 4.1 = 8.3\text{m/s}$  と見積もれる。そして突風率（ガストファクター；つまり最大瞬間風速/最大風速=1.5～2）を考慮すると，12.5～16.6m/sの最大瞬間風速と推定される。参考までに

## 四国の山岳気象

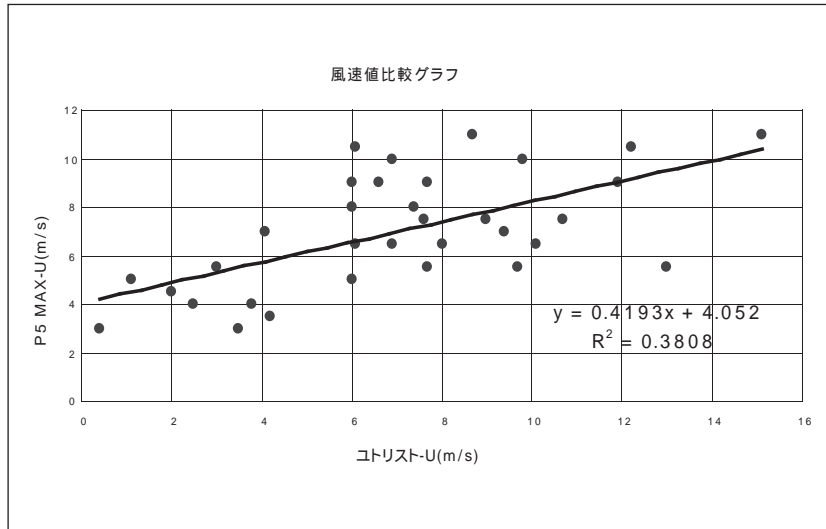


図8 風速値の比較

10/28の現場近辺のアメダス地点での最大瞬間風速は、高松(22.0m/s)、多度津(19.6m/s)、高知(12.8m/s)であり、推定風速値は128~220m/sの範囲にある。また本山町にいる友人に聞いたところ、『ものすごく風の強い日があったことは記憶にあります。時季はずれの台風でも来たのかな?というくらいの風でした。』と言っていた。

### 2.3 突風の原因としてのフェーン現象の検証

この検証に使用した気象データは図9に示す久万、本山、大栃(各アメダス地点)と大豊IC(高速道路インターチェンジ)点で得られたものである。

本山では21時10分頃(破線の丸印)に明らかに約3の気温上昇がみられ、本山より東の大栃でも遅れ

て気温上昇が確認された(図10)。このとき風向は西よりであった。大豊IC観測点での風向・風速の時系列(図11)から、矢印で示す28日22時10分と29日2時20分に強い平均風速(約6m/s)が記録されている。前者に関しては、図9に示す山の西側(久万)で降雨があり、その後に山の東側(本山や大栃)で気温上昇があったことから湿ったフェーンの可能性が考えられる。

フェーンの有無を山(図9の山)を挟んで西にある久万と東に位置する本山の気象データを用いて定量的に検証する。気温上昇前の21時の久万(標高500m)の気温 $T=8.6$ と露点 $T_d=5.5$ から、ヘニングの式より持ち上げ凝結高度(雲底) $Z_c=125(T - T_d)=387.5\text{m}$ となる。従って、久万の標高を考慮すると $Z_c$ は地上から $Z_c=500+387.5=887.5\text{m}$ である。それから久万の湿潤断熱減率  $m$ は  $m=6.2 / \text{km}$ と見積もられた(詳細は黒木, 2004を参照)。

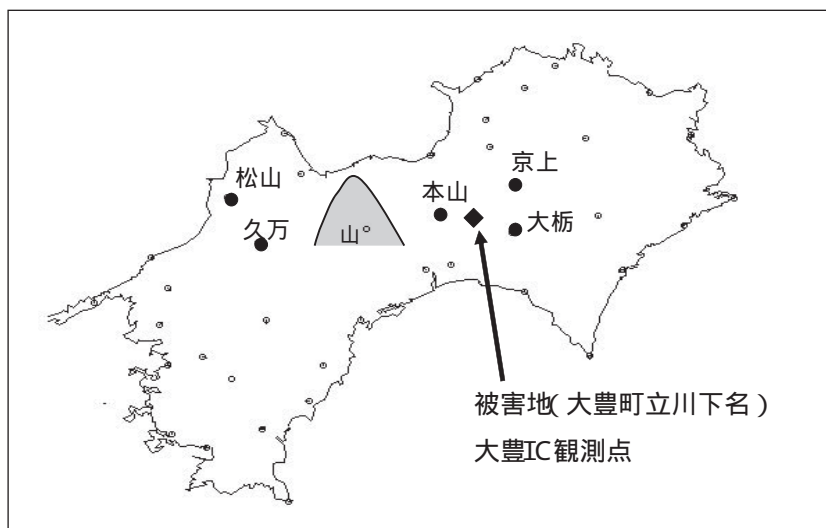


図9 各アメダス地点の位置(なお山は模式図)

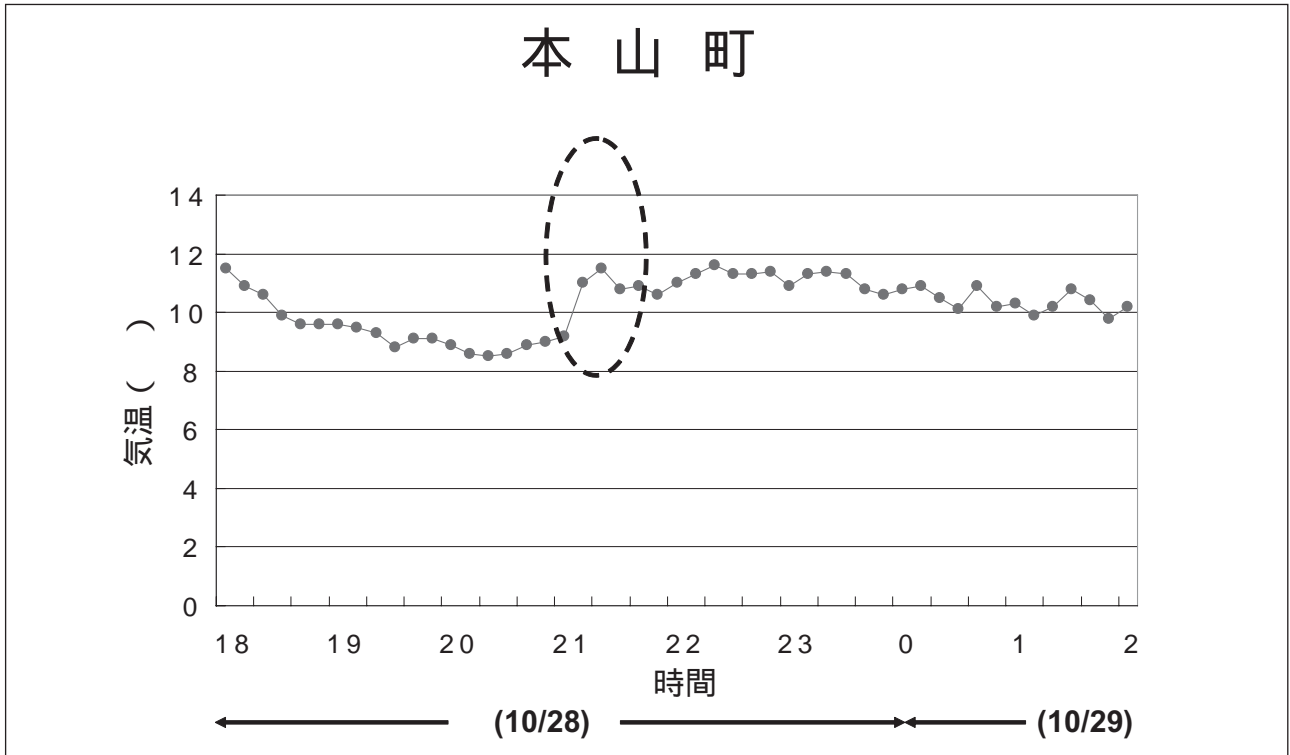


図10 本山町での気温（10分平均値）変化

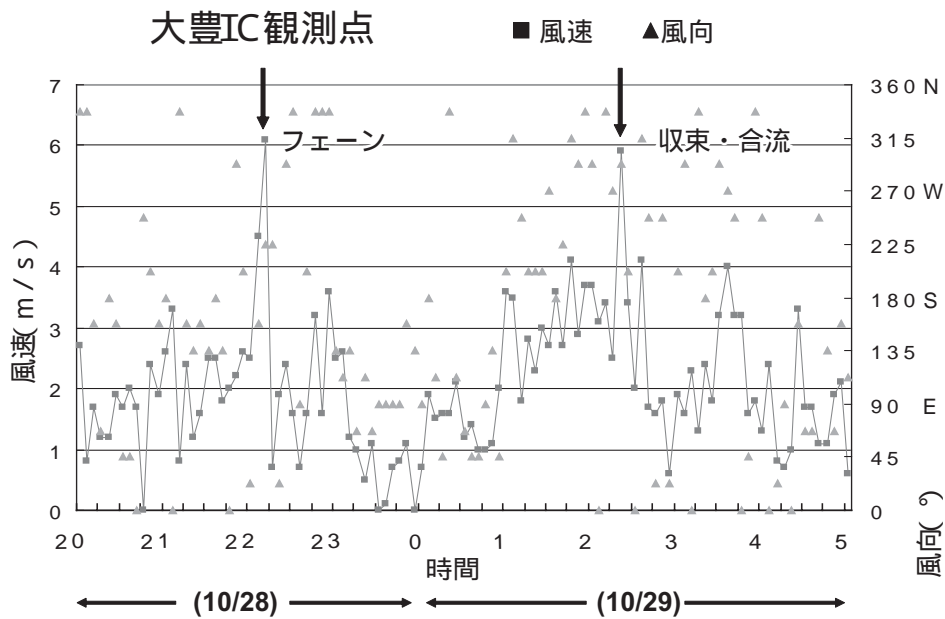


図11 大豊ICの風向・風速（5分平均値）の変化

山の風上側の麓から山頂（ $z=1400\text{m}$ ）まで上昇した気塊は、 $z=887.5 - 500=387.5\text{m}$ の間で $3.9^\circ\text{C}$ 、そして $z=1400 - 887.5=515.5\text{m}$ で $3.2^\circ\text{C}$ 減少するから、全体で $3.9+3.2=7.1^\circ\text{C}$ 温度が減少する。そして山を越えて風下の本山（標高 $250\text{m}$ ）に $z=1400 - 250=1150\text{m}$ 降下して達したとき、 $1150\text{m} \times 10^\circ/\text{km}$ （乾燥断熱減率  $\gamma_d$ ）

$=11.5^\circ\text{C}$ だけ昇温する。結局、正味の気温増加量は $11.5 - 7.1=4.4^\circ\text{C}$ で、これは図10の本山の観測値、つまり約 $3^\circ\text{C}$ 上昇と大差がない。このような湿ったフェーンによる昇温過程を模式的に図12に示す。

## 2.4 発散値評価から卓越する下降流の推定

中国山地と四国山脈で囲まれる瀬戸内地方は下降気流が卓越する気候区であるが、それでは四国山岳域はどうであろうか。各々、上昇流が収束に、そして、下降流が発散に対応することから発散量評価を行う。

図13に示すように、四国の41のアメダス地点を結んで48の三角形領域に分けた。各三角形は等面積でないが、極端に小さい、或いは大きい領域は面積が発散量評価に効くので省いた。発散量の評価方法は千葉・高橋（2003）に詳しい。

西風に対して風上にあたる領域28と47と、風下にあたる領域19と25に注目してそこでの発散量を評価した。発散量の時系列（図14）から、10月28日21時

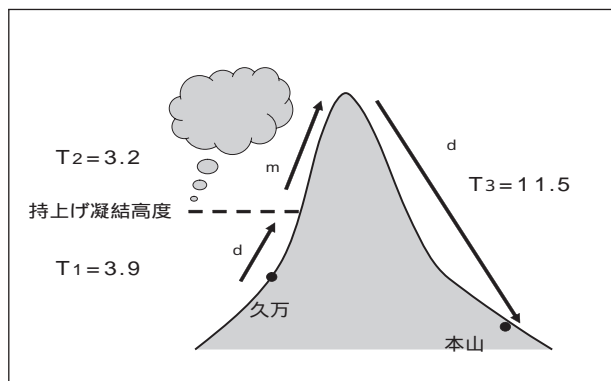


図12 湿ったフェーンの説明図

~22時20分の間では風上にあたる領域28と47は収束域 (DIV<0) で、上昇流が卓越し、一方、風下にあたる領域19と25は発散域 (DIV>0) で下降流が優勢であっ

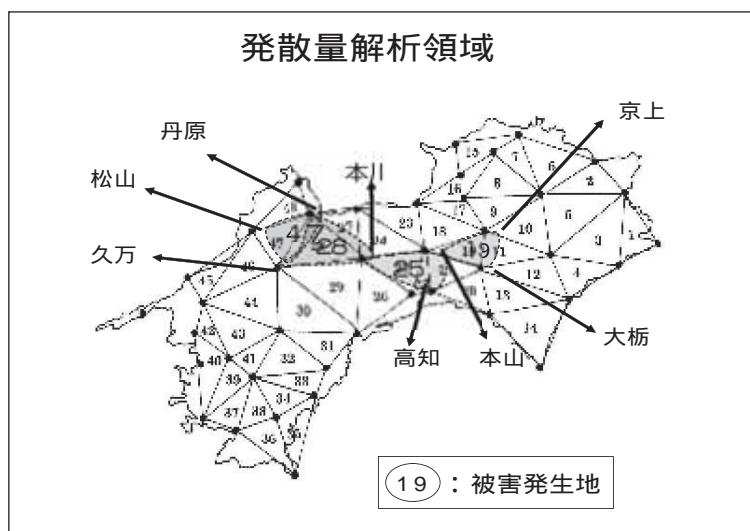


図13 各アメダス地点を結んだ48の三角形領域（番号は地域番号）

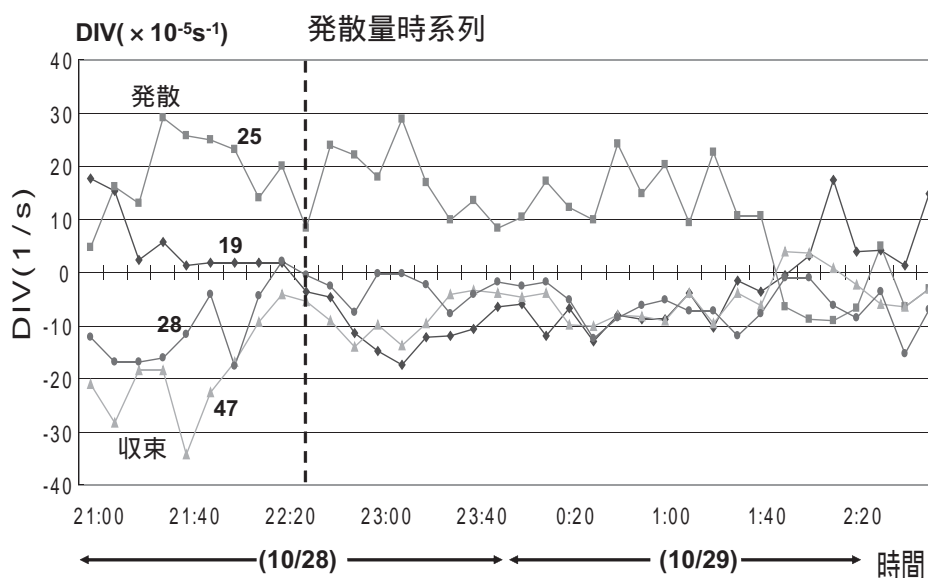


図14 各地域の発散値の時間変化

た。この状況は大豊ICで平均風速が最大値を示した時間(図11),つまり28日22時10分頃の時間帯に一致し,フェーンによる山越え下降流の存在を示唆する。まとめとして,足場倒壊現場に近い本山(標高300m)と大豊ICの気象データ解析から,10月28日21時頃から,本山の西にある久万付近では湿潤な状態にあり,そこに西風が吹いたため風下の本山や大栃の気温上昇を促した湿ったフェーンの発生が確かめられた。翌29日には風向が北向きに変わり,橋脚現場が川之江から立川,そして大豊方面へと南下する経路にあるので,狭隘なV字型の谷筋に沿った収束・合流した気流も考えられる。結論として被害をもたらした原因はフェーン

による山越え気流と,地形によって収束し強化された気流が複合的に作用して負荷を与えたものと推測される。

### 3. 土佐山田町繁藤で発生した突風被害

2003年5月8日20時10分頃,香美郡(現,香美市)土佐山田町繁藤(図15)の高知自動車道4車線化工事現場で,工所用足場が突風にあおられて傾き,下を走る国道32号線が全面通行止めになる被害があった。工事現場の足場の傾斜状況を図16に示す。

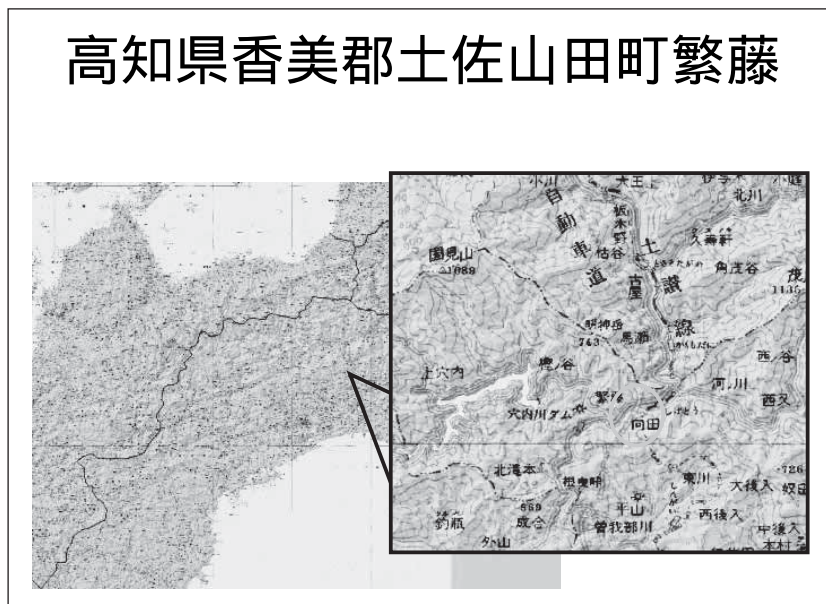


図15 香美市土佐山田町の位置

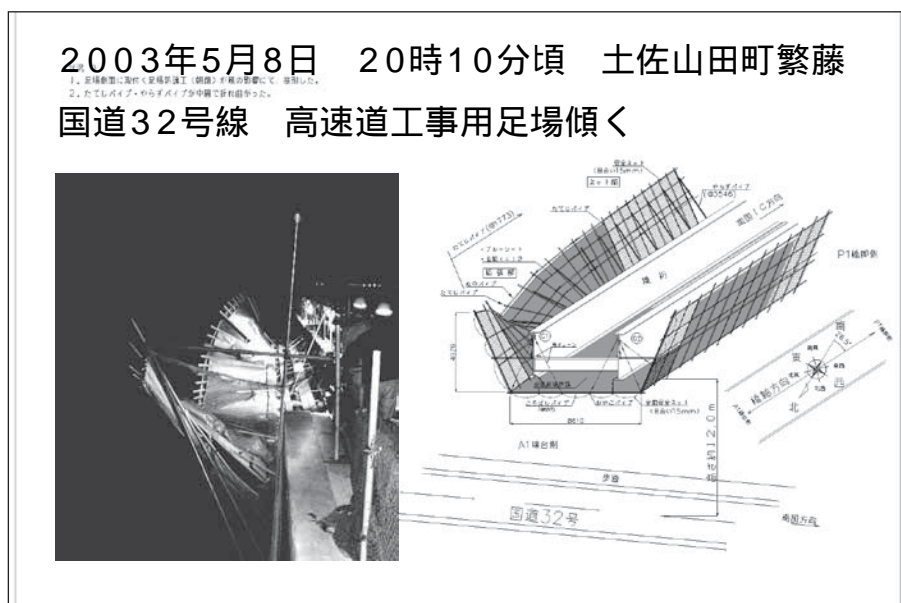


図16 足場の傾き状況(写真はJH四国支社提供)



### 3.1 2003年5月8日の気象状況と、突風発生に関する見解

前線を伴う低気圧が5月8日早朝四国付近を通過し、雷雨があった。低気圧の東進につれて中国大陸にある高気圧によってもたらされた寒気が順次、米子から多度津、そして高知へと北から南へと影響を及ぼした(図17a, 17b)。つまり、3地点の気圧がその最低気圧から増加し始める時刻(寒気がその場所に侵入した時刻)は、各々、1時(米子)、5時(多度津)、そして11時(高知)で、南下するほど遅くなる(図18の矢印)。これからも米子と高知間の気圧傾度が大きく、これが

高知での風速増加を促したと判断できる。

気圧傾度によって峡谷に吹く強風の研究例(山沢, 1985)を参考にして以下のような定量的な考察をする。

図19でxの正方向を地理学的南北方向の南に選ぶと、1次元の運動方程式は、

$$\frac{du}{dt} (= \frac{u}{t} + u \frac{u}{x}) = - \frac{P}{x} + fv + \dots \dots \dots (1)$$

なお、uはx方向の風速、 $\frac{u}{x}$ は乱流によるx方向の応力である。ここで、コリオリ項( $fv$ )と移流項( $u \frac{u}{x}$ )

地上天気図(5月8日21時)



気象庁提供

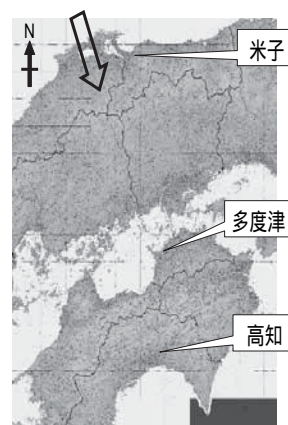


図17a 地上天気図

図17b 三地点の位置

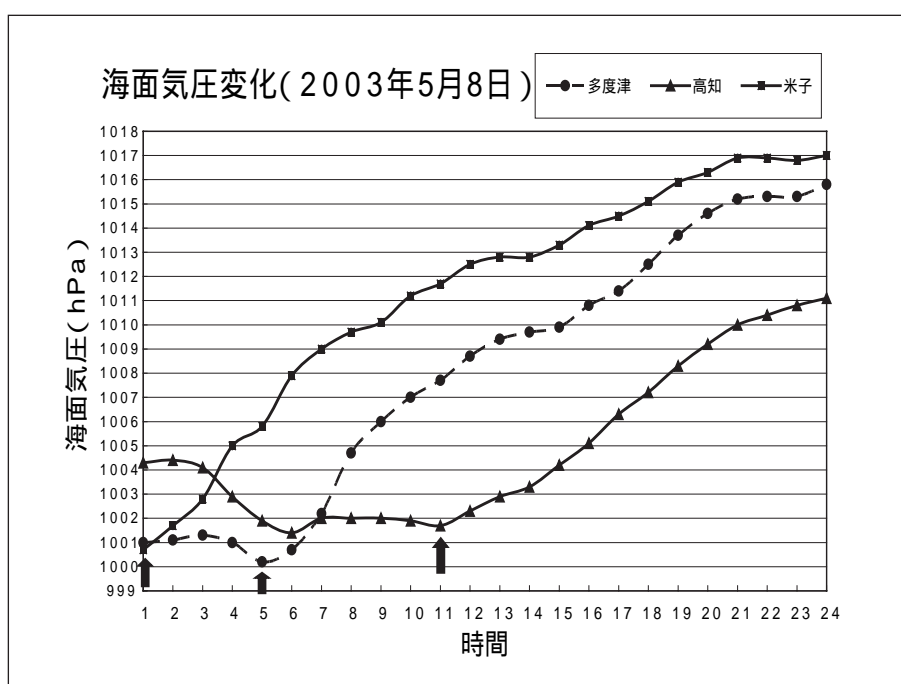


図18 三地点の海面気圧の時間変化

$u/\partial x$  を無視し、定常性 ( $u/\partial t = 0$ ) を仮定すると、(1) 式は

$$\frac{1}{z} \frac{\partial P}{\partial x} = 0 \dots \dots \dots (2)$$

(2) 式を  $z=0$  から  $z=H$  (山の平均高、または風速  $u$  が最大になる高さ) まで積分すると、

$$\int_0^H \frac{1}{z} \frac{\partial P}{\partial x} dz = H \frac{\partial P}{\partial x} = -\rho C_d u^2 \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 $\frac{\partial P}{\partial x}$  は高さ  $z$  に依存しないと仮定する。

(3) 式より、地表面の応力  $\tau$  は、 $\tau = -\rho C_d u^2$  と表せる。ただし、 $C_d$  は運動量のパルク係数。

従って、

$$-\rho C_d u^2 = -H \frac{\partial P}{\partial x}$$

結局、風速  $u$  は、

$$u = \sqrt{\frac{H}{C_d} \frac{\partial P}{\partial x}} \dots \dots \dots (4)$$

### 3.2 2003年5月8日の土佐山田での夜間の風速値を(4)式を用いて推定する。

5月8日20時の高知の海面気圧=1008.7hPaと、北よりの風に対して風上になる多度津の海面気圧=1014.0hPaを用いる。 $x$  (高知と多度津間の水平距離) =50km,  $C_d=1.1 \times 10^{-2}$  (粗度定数  $z_0=15\text{cm}$ ), 空気密度  $=1.3\text{kg/m}^3$ ,  $H=500\text{m}$  と考慮して、(4) 式に代入すると、風速値  $u = 19.3 \text{ m/s}$  となる。図20は、南国IC (土佐山田に近いIC地点) で観測された平均風速 (5分値) の時系列を示すが、20時頃から急速に増加して21時には約9m/sに達した。ガストファクター (突風率) を2.0として最大瞬間値を推定すると  $2.0 \times 9 = 18\text{m/s}$  となり、(4) 式から求めた値 ( $=19.3 \text{ m/s}$ ) と大差はない。従って、この風は気圧傾度力によって誘因されたもので、四国山地の山越え気流として北から吹き込んだ。この

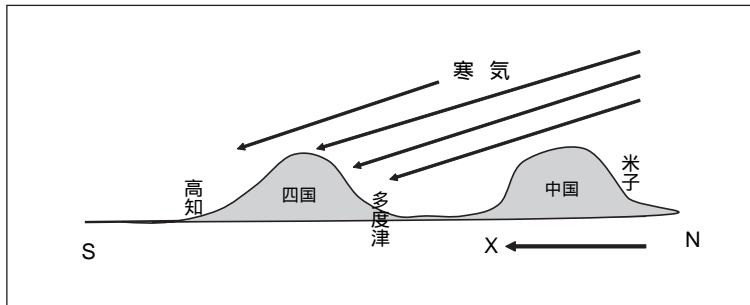


図19 北よりの寒気の動きと気圧差形成の模式図

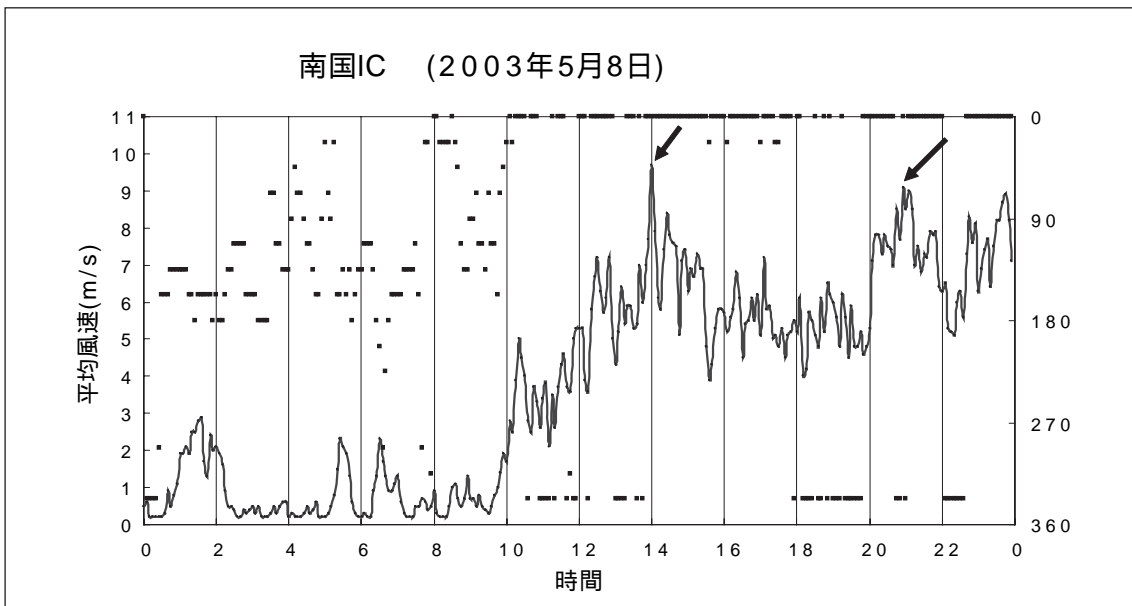


図20 南国ICの風向・風速 (5分平均値) の時間変化

ことは風下にあたる後免（アメダス地点の1つ）の風向が北北東であり、風速値が4から7~8m/sへ増加したことからも理解される。ただし、この日の高知での最大瞬間風速値が12m/sであったが、足場が傾いた繁藤は大豊から南下するV字型峡谷に沿って存在しており、そこに北からの風が収束・合流し強化された風が吹いていたものと推測される。しかしながら、この程度の風が足場を傾けさせる主因であるかどうかは不明である（参考資料:日本道路公団四国支社, 2003）

#### 4. 四国での雄大積雲（千葉・川田, 2004）

夏場に都市によるヒートアイランドと関連して「都市型豪雨」を促す積乱雲の挙動が注目されている（小林, 2004）。しかし、雷雨のような天気擾乱と結びつ

かない雲の動きも興味深い。雲の形態を地上から目視し、デジタルカメラ（デジカメ）で撮影した結果を高層気象データや衛星画像、そしてアメダスデータなどの実況データと比較し、雲の動態を総合的に研究した。この研究では夏季に見られる代表的な雲（雄大積雲）について、2004年の夏季にデジカメによる雲撮影を行い、その写真と種々の気象データを用いて定量的なアプローチを試みた。

雲の生成条件は主に、(1) 寒冷前線にのり上がる暖湿気塊の凝結、(2) 性質の異なる気流の収束（局地風の影響）、(3) 山岳斜面で持ち上げられる気流、そして(4) 混合層の発達を促す地表面加熱がある。擾乱のないときの四国上空の雲の動態を研究した例（千葉・高橋, 2003）によれば、雲の形成に(2)~(4)の条件が複合的にかかわっている。ここでは発達した

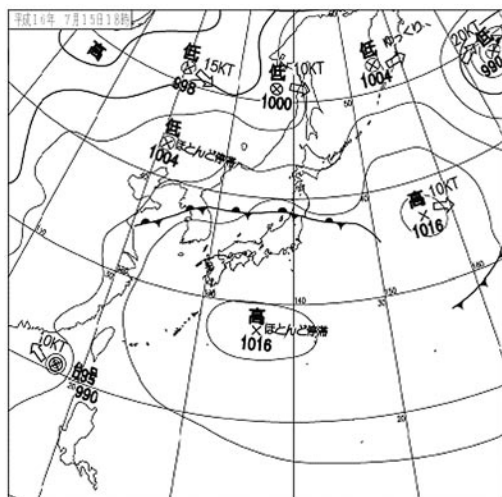


図21a 地上天気図（7/15 18時）

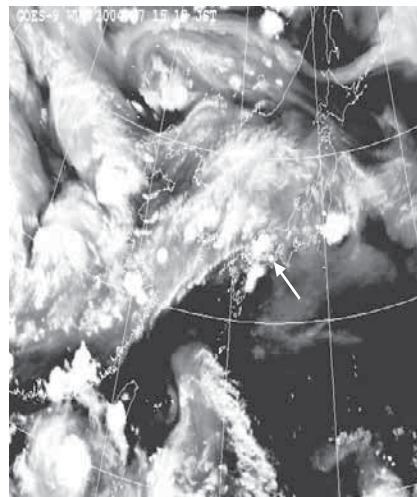


図21b 衛星水蒸気画像（7/15 18時）



図22 高知大学屋上からデジカメを北東方向に向けて撮影したアンビル

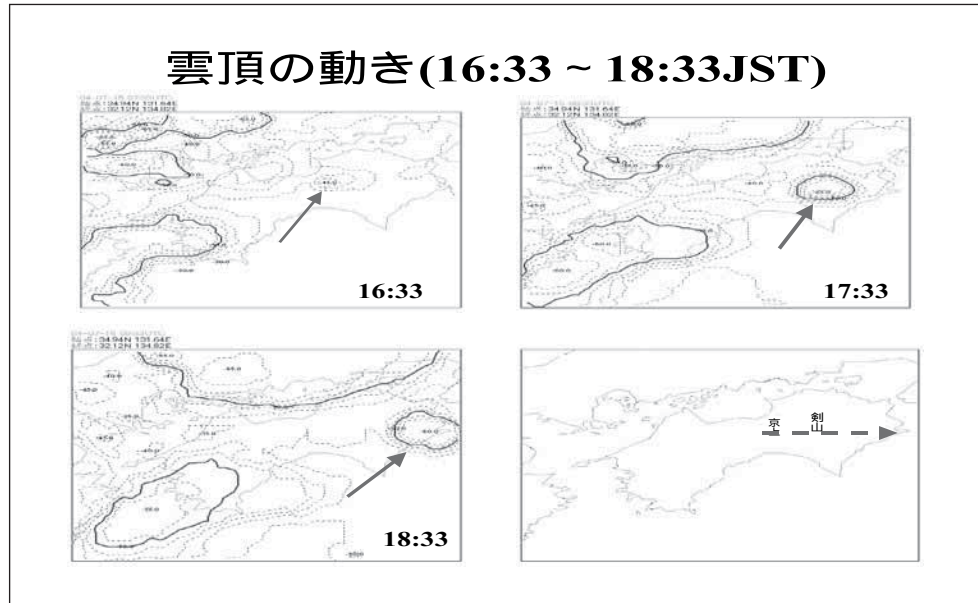


図23 水蒸気画像の輝度温度の等値線図

積乱雲が対流圏界面に達して形成されるアンビル（積乱雲頂上付近のかなど雲）に言及する。

7月15日18時，日本列島は広く高気圧におおわれて晴天であった（地上天気図（第21a図））。四国には南海上の高気圧（1016hPa）の縁を周り込むように南からの気流の流入が考えられる。第21b図は水蒸気画像からの雲の分布状態を示す。中国大陸の東部や台湾周辺に大規模な雲系がみられる。一方，極めて局所的であるが四国の徳島県上空に孤立した雲塊（矢印の先）が存在する。この雲の動態を調べることが本研究の主目的である。

第22図は第21b図で示された徳島県上空の雲を高知大学屋上（標高242m）から撮影したもので，発達中の積乱雲を下層に見ることができる。そして四国山地上で発達し，上方に伸張した円柱状の雲が対流圏界面に達し，放射状に拡大したアンビルとなっている様子がみとれる。これがどのように発生し，発達したかを，さらにその性質・特徴について天気図，衛星画像解析などから調べた。

四国地方を中心とした雲衛星画像の輝度温度の断面図や等値線図から，先ず雲頂の時間的な変化を求めた。第23図は16:33から18:33JSTまでの矢印で示した雲（第21b図や第22図で示すアンビルに対応）の動きと，その雲頂温度（ $-45 \sim -65$ ）を示す。

16:33JSTに徳島県の京上（アメダス地点）付近に出現した雲は破線で示すように剣山を越えて西から東に向かって動いていた。輝度温度の鉛直断面図から求めた雲の移動速度 $U$ は，平均して $U=35 \text{ km/h}$ （16:33 - 18:33JST）であり，時間の経過とともに上層風に流

されていると推測される。さらに雲の上昇速度 $W$ が， $W=26 \text{ m/s}$ と見積もられた。ちなみに，潮岬の9時の高層データから雲頂高度約13000m，雲頂温度 $-58.3$ であった。

このようなアンビルの形成要因は，日中平野部や山岳斜面の強制加熱によって発達した混合層に谷風や海風のような局地風が海岸部から内陸へ流入し，四国山岳域への継続的な水蒸気輸送にあると考えられる。総観規模の西風の影響を受けているものの積乱雲が発達したのは一般風が弱く四国山地上での強い上昇流が寄与していると推測される。

## 5. 徳島県剣山の気象特性（千葉ほか，2005）

四国は四方を海に囲まれ沿岸部から平野部，そして山間部へと（またはその逆過程で）流れ込む局地風循環がみられる。このことはアメダス観測地点の風の解析から得られた四国の風系から知られており大まかな局地風の振る舞いも把握されている（大阪管区气象台，1985）。しかし何気なくみたのでは個々の地点の風の微細な特徴・特性は見逃しやすい。山岳部に目を転じると徳島県の剣山（標高1955m）は愛媛県の石鎚山（標高1982m）と並んで西南日本を代表する高峰であり，それゆえにそこでは山岳特有の気象特性が考えられ個々の場所の風の振る舞いについてはその場所特有の気象が反映されている。

2003年11月1日14時頃，パラグライダーの墜落事故が発生した。事故現場は徳島県木沢村にある剣山山頂

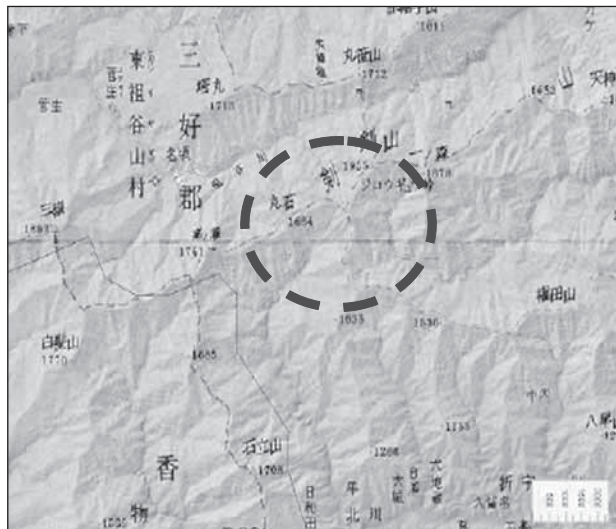
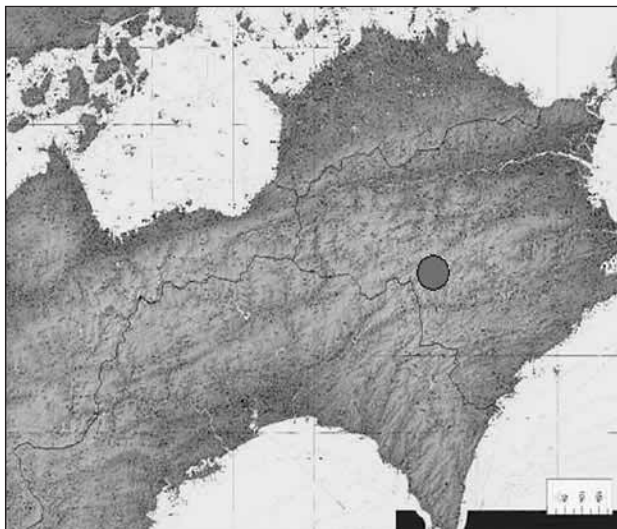


図24 パラグライダー墜落事故現場の位置

から約300m南の地点で、次郎笈（じろうきゅう）峠（標高1928m）と呼ばれる場所である（図24の破線の円内部）。事故発生までの経緯は、12時30分～13時頃に剣山南西斜面を風速約0～2m/sの中を離陸したとみられ、その後（警察発表によると）14時33分頃に巡視員からパラグライダーが墜落したのを発見したとの通報があった。不幸にして操縦者は死亡した。なお、剣山付近は当時晴天で見晴らしがよかったとされている。当初、パイロットの操縦ミスが推測されたが、数年の経験があり、そうとも言い切れないところがあった。この事故に関連して剣山付近の気象特性を調べた。本研究では2003年11月1日のアメダスデータ（10分平均値）・気象衛星画像・レーダー図などの気象資料を用いて剣山周辺の気象特性を考察した。

### 5.1 各種気象データからのアプローチ

11月1日15時の地上天気図（図25a）をみると、日本列島は東海上にある高気圧（1024hPa）におおわれ気象は良好であった。四国にはこの高気圧の縁をまわり込むように南西方向から縁辺流が吹き込んでいた。

11月1日9時の高層天気図（850hPa）では、日本上空は等温線の間隔が広く安定していたと考えられる（図25b）。また、四国を囲む4つの高層観測点、すなわち潮岬（図省略）の850hPa（上空約1500m）では21時の風は9時とほぼ同様の傾向がみられ一日を通して南西風が卓越していた。他方、福岡・鹿児島・米子では風速5～10m/sの南西風が吹いており、これは先に述べた縁辺流と推測される。

図26は11月1日の12時、14時のGMS可視画像である。午前中には四国上空に目立つ雲はほとんどみられなかったが、12時頃から徐々に雲ができ始め、14時～15時には剣山や石鎚山を中心に四国中央部に雲が発生し

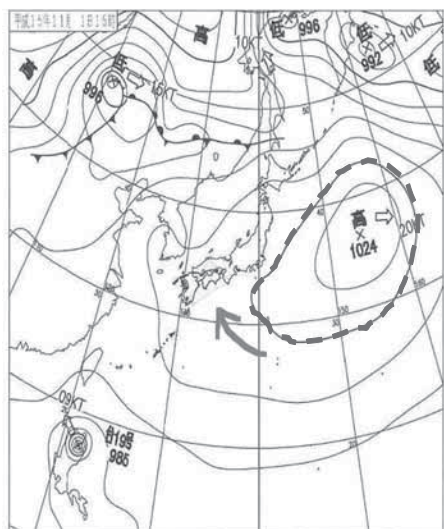


図25a 地上天気図（11/01 15時）

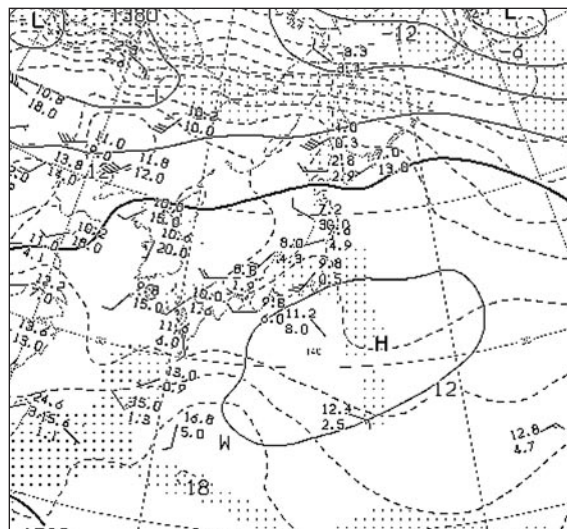
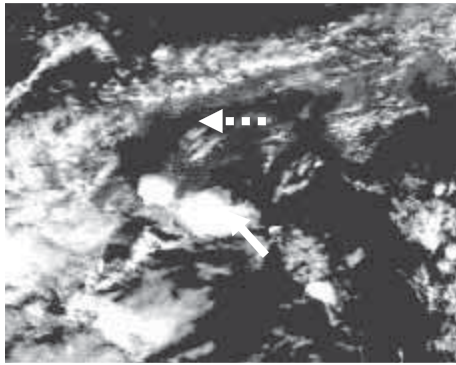
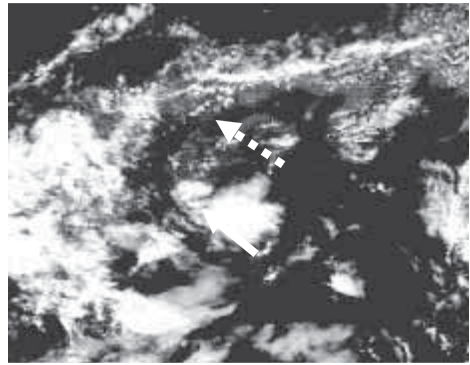


図25b 850hPa天気図（11/01 9時）



12時



14時

図 26 GMS可視画像 (12時と14時)

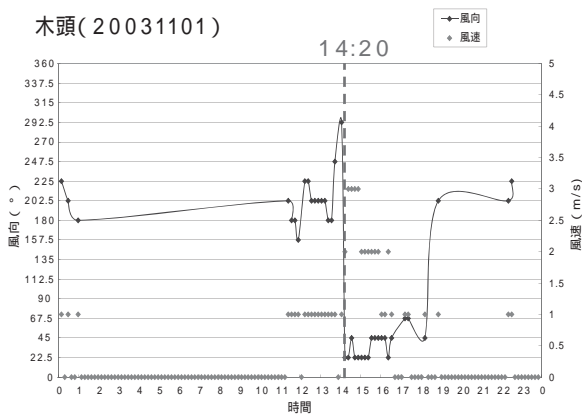


図27a 木頭村の風向・風速の時系列

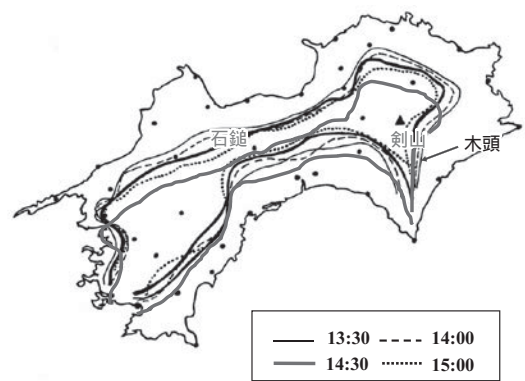


図27b 海風の侵入図 (13:30~15:00)

ているのが確認できる。これは山岳斜面の上昇流に起因する積雲と考えられる (破線矢印)。また、土佐湾南西部の白く背の高い雲域の動き (実線矢印) が遅いことから、一般風の影響が小さかったと判断される。

剣山上空の気象データがないため剣山から最も近い木頭村のアメダス風速・風向データ (10分値) を調べた (図27a)。昼前まで南寄りの風だったのが事故発生時刻を示す14時20分頃 (図中の縦の破線) に北東方向

の風にシフトし、風速も3m/sと増加した。

四国の41のアメダス地点の風向・風速データから海風の侵入時刻を求め、進行ベクトル図 (PVD図) を作成した。なおPVDは仮想的な流跡線を示す。各時刻で各々の地点の進行ベクトルの先端を線で結び、それを海風の侵入線とした (図27b)。なお、海風の侵入時刻は風向変化で決定した。図27bから14時30分 (太い実線) には徳島県南東部からの海風はすでに木頭村に達

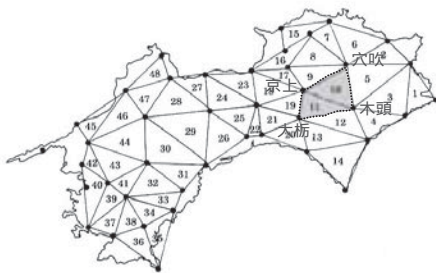


図28a 48の発散量解析領域

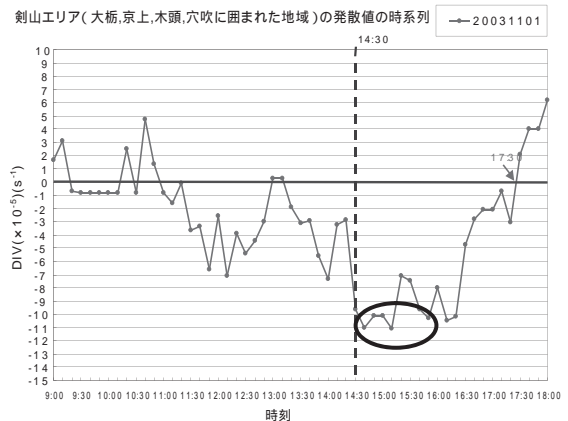


図28b 剣山領域の発散量の時間変化

し、剣山の麓近くまで侵入している。また、木頭村の南西側に比べて徳島県北部や紀伊水道方面からの海風が早く侵入しているのが確認できる。

衛星画像で剣山周辺に雲域を確認したことから収束効果による上昇流の存在が推測される。それを確認するために9:00~18:00JSTまでの発散量評価をおこなった。千葉・高橋(2003)の手法と同様に四国の41のアメダス地点を結んで48の三角形領域に分け、剣山周辺の領域番号10・11(図28aの影部分)の発散値の時間変化を求めた(図28b)。発散量はアメダス風向・風速データ(10分値)から求めた。なお、剣山領域は穴吹、京上、木頭、大柘の4地点で構成されている。図28bより剣山領域では、13時過ぎから収束(負の発散)がはじまり14時30分頃まで増加し強い収束がみられる。これは紀伊水道からと土佐湾からの海風が木頭村へ侵入し、合流・収束した結果とみなされる。しかし、この収束も14時30分過ぎにはピークをむかえ、その後一定値となった(図28bの円)。

その原因は後述するが、水平風(横風)が北東方向から流入し、上昇流の発達を阻止したためと考えられ

る。

## 5.2 客観解析からの風速推定

剣山を囲むアメダス4地点(京上・大柘・木頭・穴吹)から剣山上空で、どのような風が吹いていたかを客観的に解析した(図29a)。使用したデータは4地点のアメダス風向・風速の10分値(13:00~15:00JST)で、それをもとに進行ベクトル図(PVD)を作成し、剣山上空の風を推定した。推定法は客観解析で図29bに式で示す。なおここで、重み係数 $W_i$ を考慮して剣山からより近い距離にある観測点の影響が大きく反映するようにした。剣山から各地点までの距離 $r_i$ は図29b内に示す通りで、最終的に剣山上空の推定した風ベクトル $V(u_0, v_0)$ が求まる。つぎに13時から15時まで推定値した $V(u_0, v_0)$ から剣山を原点とする進行ベクトル図が図30に示される。

剣山上空の風は13時から14時頃までは南東の風であったが14時10分頃まで風速が弱くなって停滞し、その後向きを変え北東の風(大きい矢印)にシフトし風

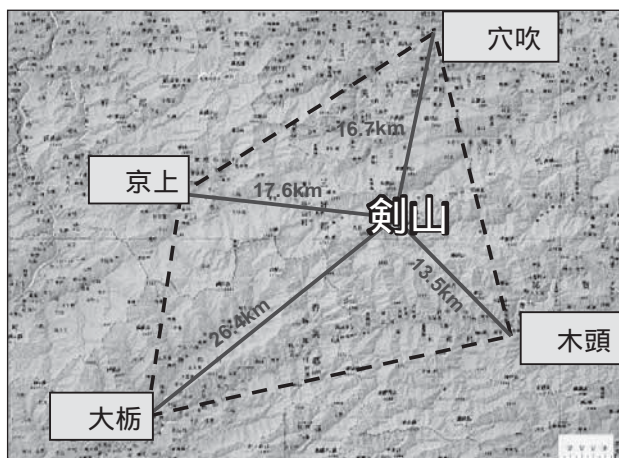


図29a 剣山を囲むアメダス4地点

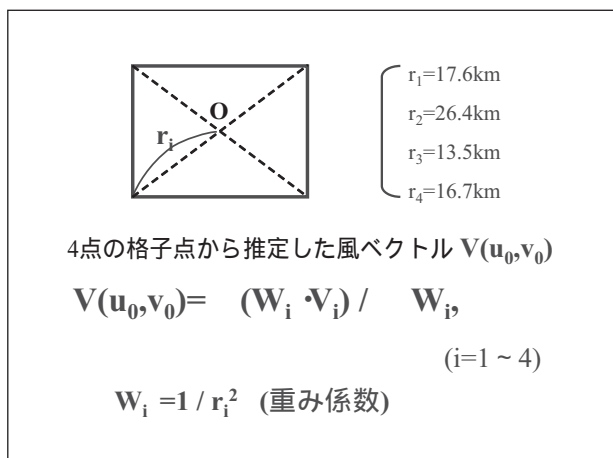


図29b 客観解析の説明図

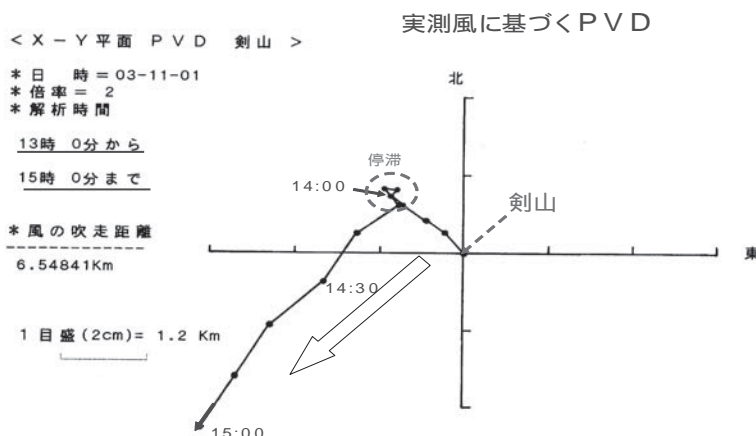


図30 剣山上空で推定した進行ベクトル図





## 参考文献

千葉 修・高橋信年, 2003. 四国上空の雲の動態と局地風の関係, 天気, 50巻, 6号, p.447-455

千葉 修・川田陽輔, 2004. 夏雲の動態の研究, 日本気象学会関西支部例会講演要旨集, 第104号, p.21-23

千葉 修・太田衣美・石川明弘, 2005. 徳島県剣山付近の気象特性 日本気象学会関西支部例会講演要旨集, 第106号, p.67-70

平田実, 岡良樹, 馬場俊之, 1996. 風になる本 パラグライダー, 成美堂出版, 153pp.

泉善弘, 佐野清志, 宇都宮英彦, 長尾文明, 1998. 四国の山岳部における強風特性, 日本風工学会誌, 76号, p.15 - 28.

河村武, 1975. 近畿地方および中国・四国地方東部における地上風系, 地理学評論, 48巻, p.387 - 394.

小林 文明, 2004. ヒートアイランドが降水におよぼす影響 - 東京周辺における積乱雲の発達 -, 天気, 51巻, 2号, p.115 - 117

黒木基樹, 2004. 大豊町立川下名で発生した突風災害の気象学的検証, 高知大学理学部自然環境科学科卒業研究

村上康介, 2004. 高知県山岳部で発生した突風災害の気象学的検証, 高知大学理学研究科修士論文

南良三 (株新進建設), 2003. 鉄筋傾斜の原因報告書, 11pp.

日本道路公団四国支社, 2003. 鋼橋防護工の安全性に関する検討報告書, 30pp.

大阪管区气象台, 1985. 近畿・中国地方の風の一般的特性と地域観測所資料による府県別地域細分

山沢弘実, 1985. 気圧傾度によって峡谷を吹く強風についての一考察, 文部省科学研究費 自然災害特別研究研究成果No.A - 60 - 4 (研究代表者, 近藤純正), p.387-392

strongly influenced by the Kuroshio Current. The mountain weather over Shikoku Island has been affected by its geographical feature, particularly by the ocean and mountains. The major viewpoint previously focused on the sea side has been changed to the mountains region, by showing four weather events occurring in the area. Strong wind accompanying with air turbulence and a remarkable local wind such as the land and sea breeze are also recognized in the area. On the other hand, local wind influenced by a larger areal scale wind is also observed.

Key word : Geographical features of Shikoku, Wind system of Shikoku, Mountain's foehn, Convergence-confluence, Cumulonimbus, Local wind of Mt.Tsurugi

Mountain Meteorology over the Shikoku Island

Osamu Chiba\*

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

Abstract : Shikoku Island consists of high mountains as the back on the north side and faces the Tosa Bay