

## gap wind について\*

荒川 正 一\*\*

### 1. はじめに

gap wind とは, gap (谷, 峡谷, 海峡など) の中または出口で吹く強風のことである. この用語は, Glossary of Meteorology (アメリカ気象学会) の第1版第2刷 (AMS: American Meteorological Society, 1970) には現れていない. 代わりに Scorer がジブラルタル海峡の海峡風に対して呼んだ mountain-gap wind が載っているが, こちらは余り普及しなかった. 一方 gap wind (または gap flow) の方は, 1990年代に入ってから特にアメリカの雑誌などでしばしば見かけるようになった. AMS の Glossary 第2版 (AMS, 2000) にも現れ, 次のように説明されている. “2つの山脈 (two mountain ranges) の間にあるやや平らな地峡, 海峡 (channel), あるいは1つの山脈 (a mountain barrier) の中にある谷 (gap) を通る低層の強風. 元々, ワシントン州西部のオリンピック山とヴァンクーバー島の陸地形 (terrain) との間の海峡, すなわちファンデフーカ海峡を通る東風の強風に対する用語であった. テワンテペクスも代表的なものの1つ, ……”

日本の気象学の事典類にはまだこの用語は見あたらない. 「だし (だし風)」を引くと, “日本海沿岸地域に発生する東～南よりの局地風の総称” とし, 代表例として清川だし, 荒川だしなどをあげている. “山から出す, 陸から海へ出す, が原義である” 等の説明はあるが (例えば関口, 1985), “谷から吹き出す強風” のような構造に関する定義・説明はない. 唯一, 気象科学事典 (日本気象学会編, 1998) では, 地形的特徴として gap wind と同じ説明がなされている. しかしその

英語名は空白となっている.

著者は1968年の論文 (Arakawa, 1968) で清川だしや寿都だしを総括する英語名が見いだせなかったので, “dashi-kaze” を使い, “wind that blows out from a narrow valley” と注釈した. しかし「局地風いろいろ」(荒川, 2004) 執筆に際しては, “「だし風」には上記のように先住者がおり, 新解釈を入れるのは困難” と思い, gap wind の訳語として「だし風」を辞めて「地峡風」を使った.

上述の如く, 最近北米大陸西海岸に吹く gap wind の研究が盛んである. 同時に, アルプスのフェーンについても, 谷 (Tal) を吹き降りる事実が見直され gap wind としての研究が盛んに行われている. どちらの風に対しても, 1990年代に入ってプロジェクト研究が企画され, 世界の研究者達を集めて実施された. どちらも元々1世紀も前から注目されてきた古いテーマなのだが, 新しい研究では, リモートセンシングなどを使ったより詳細な観測と, ネスティングを用いた高解像度の数値計算が行われている. そして色々新しい知見が生まれているので, それらについて私見も交えながらレビューしてみたい.

### 2. 北米西海岸の gap wind

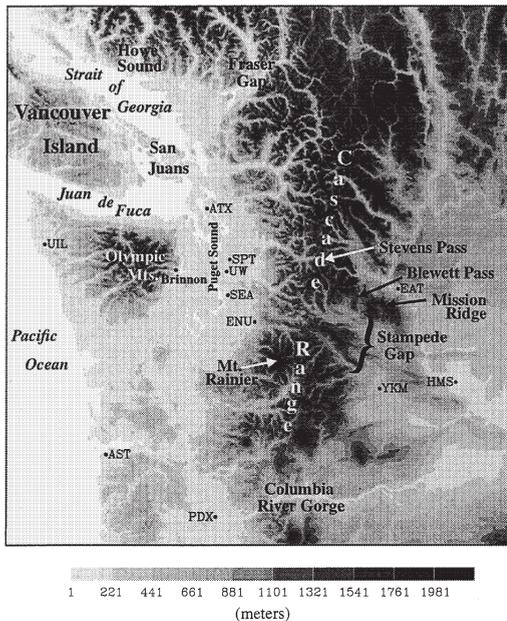
北米大陸西海岸, 中でもアメリカのワシントン州とカナダのブリティッシュ・コロンビア州では, 随所で gap wind が見られる. 上述のファンデフーカ (Juan de Fuca) 海峡の他に, 米国側ではカスケード山脈を横切るコロンビア地溝 (Columbia Gorge) や, スタンピード地峡 (Stampede Gap) などの東風が有名である. またカナダ側ではフレーザー谷 (Fraser Valley), ハウ入り江 (Howe Sound) からの gap wind がよく知られている (第1図参照).

1990年代に入ってこの地方を対象に地形と気象に関

\* Gap wind and its brief review.

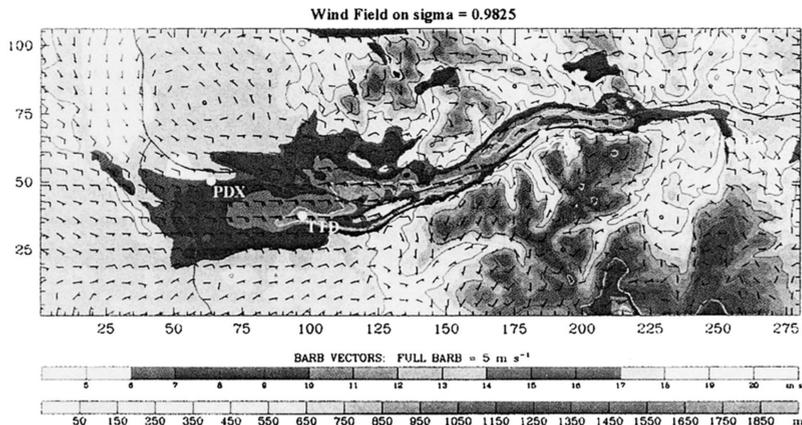
\*\* Shoichi ARAKAWA, 日本気象学会.

© 2006 日本気象学会



第1図 アメリカ北西海岸の地形と gap wind : Juan de Fuca 海峡, Columbia 地溝, Stampede Gap, Fraser 谷, Howe Sound (Colle and Mass, 1998a).

する特別研究が計画され、1993年と1995年に特別観測が行われた (Bond *et al.*, 1997). この研究全体を COAST と呼び、1993年のものを COAST1, 95年のものを COAST2と呼んでいる。その対象領域は第1図の領域の他西海岸沿いにカリフォルニア州まで及ぶ。



第2図 Columbia 地溝における gap wind の数値シミュレーション.  $d=444$  m, 地上風の Max は地溝の出口付近 (地点 TTD の東方の白い部分) で 18 m/s (Sharp, 2002).

ルーチンの地上観測, レーウィン, ウィンドプロファイラー, レーダー観測などの他に, 航空機 (P-3) による直接観測とレーダ観測も行われた。

COAST 特別研究については, ワシントン大学の Colle and Mass (1998ab, 2000) が詳しく報じている。1998年の報告は, カスケード山脈を東西に横断するところのスタンピード地峡と, その風下で起こる gap wind に関するものであった。強風の事例は1995年2月のもので, COAST2よりも10か月前のものであった。多分 COAST の preliminary report のつもりではなかったろうか。1998年の報告については荒川 (2004) で紹介している。

Colle and Mass (2000) では, COAST2期間中にファンデフーカ海峡に起こった gap wind について報じている。いわゆる地上のメソスケール解析の他, NOAA P3機によるドップラーレーダーの観測を報じている。海峡出口で高さ700 m にあった強風が下流に向かって位置を下げ, 出口から30 km 下流で高さ100 m まで降下した。

Colle and Mass (2000) はさらに高分解数値シミュレーションによる gap wind の解析も進めた。数値シミュレーションではネスティング法によって段階的に細密化する方法を採った。初めの領域 D1は格子幅  $d$  が36 km であったのが, そこから1/3ずつ細密化して D4では  $d=1.33$  km までとなった。モデルは, Penn. State Univ. (ペンシルバニア州立大学) と NCAR (アメリカ大気科学研究センター) の共同開発による MM 5である。その計算によると, 下層の海峡の出口に強風が現れることなど, 実測と良く一致していた。

第2図に細密化による数値シミュレーションの例 (Sharp, 2002) を示す。図はコロンビア地溝における gap wind のシミュレーションの結果である。地溝をできるだけ真の形に近づけるため, ここではもう1段ネスティングを進め  $d=0.444$  km とした。地溝を出た後で最大風速18 m/s が現れ, 観測と一致する結果が得られた。格子幅の荒いときには左右の山の影響を

受けて正しい gap の形を表すことができなく、最大風速は弱くもっと上流に現れた。

### 3. アルプスのフェーンに関する最近の研究

これまでのフェーンの研究は「高温と乾燥」に主眼を置いたものが多く、山越え気流として扱われてきた。しかし最近では、アルプス山脈を南北に横切る谷間が注目され、それに沿って吹く gap wind としての研究が盛んである。アルプスのフェーンが谷間沿いに卓越するという事は、Floh (1954) も既に指摘している (矢沢・前島, 1988)。

この地方のプロジェクト研究 (風や雨に関する) には1999年 9~11月に行われた MAP 計画がある (Bougeault *et al.*, 2001)。この計画は1982年の ALPEx 以来の大型プロジェクトで、その柱の1つとしてヴィップ (Wipp) 谷とライン (Rhine) 谷のフェーンが取り上げられた (第3図)。この場合も観測と数値シミュレーションの両面からアプローチされた。

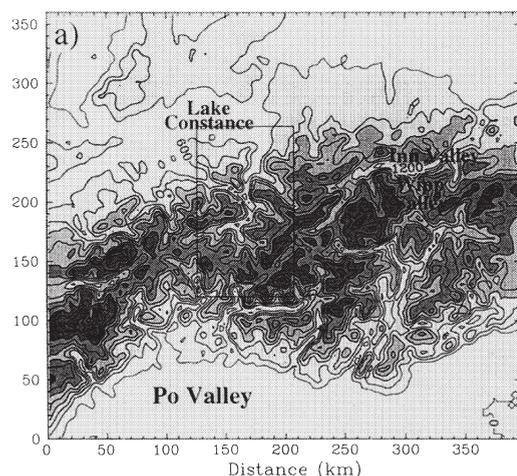
観測面における特徴は、ヴィップ谷の途中にあるゲダイル (Gedeir, インスブルック (Innsbruck) から10 km 上流) にドップラーライダー TEACO 2 を設置したことである。これは Transverse-Excited Atmospheric CO<sub>2</sub> の略称で、エアロゾル粒子がターゲットとなるという。この場合サハラ砂漠からのダストが好条件を作ったらしい。一方航空機 (ARAT) に搭載し

たライダー (LEANDRE2) は水蒸気をターゲットとしたもので、これは逆転層など下層大気の構造解析に役立った。これらの研究はミュンヘン大学の Zängl, インスブルック大学の Gohm らによって進められた。

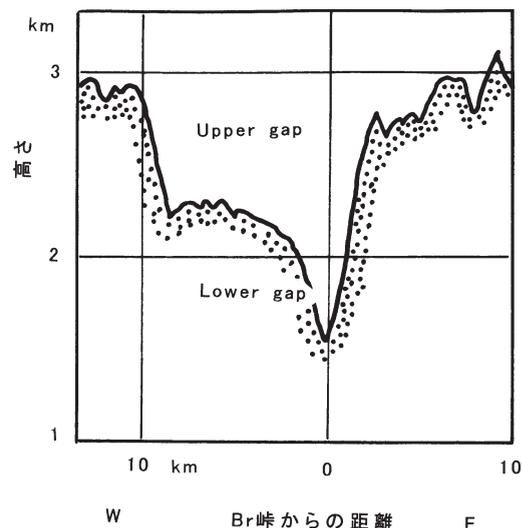
ヴィップ谷のフェーンはブレンナー (Brenner) 峠からインスブルックまで谷沿いに吹き降りる。海峡の場合と異なり、谷の底は平らでない。峠の風上で上昇し、風下で下降しながら吹く。この MAP 計画の1つの目的は、地形の昇降対谷幅の伸縮、この両者の relative importance を検証することでもある (Weissmann *et al.*, 2004; Zängl, 2003)。

この地域の特徴として、ブレンナー峠はアルプス主稜の中で最も低い峠 (1371 m) であり、その峠からインスブルックまでヴィップ谷の長さは約30 km である。ヴィップ谷は、スタート点のブレンナー峠からすでに gap の態をなしている。第4図に見られるように、下部の gap と上部の gap の2段構造となっていて、上部 gap の幅は約12 km ある。ただし、下流に向かって gap 幅は広がり、2段構造はしだいに崩れていく。

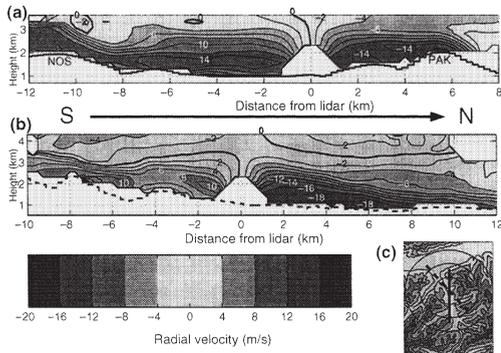
第5図は、ゲダイル (GED) において TEACO2 から観測された谷沿いの風速成分分布である。谷筋が GED で折れているため第5図 a では GED の左側が、また第5図 b では GED の右側が谷沿いの断面である。GED の風上よりも風下の方が風が強い、また風上では



第3図 アルプスの地形, MAP 計画の対象域。四角の枠線内は、ライン谷を含む領域を示す (Zängl *et al.*, 2004)。



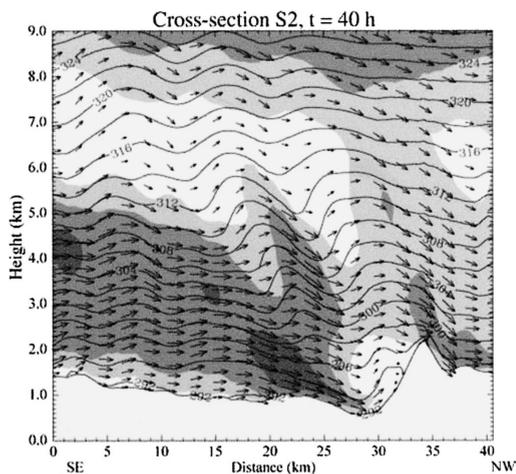
第4図 Brenner 峠の地形の東西断面 (Weissmann *et al.*, 2004)。



第5図 TEACO2によるWipp谷に沿った風速分布。(a)は南北線断面、(b)はSE-NW断面、それぞれの位置は(c)参照、等風速線10は接近風速10 m/s、Gedeirは横軸0の位置 (Weissmann *et al.*, 2004)。

強風軸が地上500 mほどに現れているのに、風下ではそれが地面に着いている。

第6図は数値シミュレーションの結果の1つ、谷に沿った風速の断面図である。谷沿いの風がだんだん加速され、インスブルックの手前で最大風速20 m/sとなっている。第5図の観測との対応もよい。この場合にもMM5モデルが用いられ、ネスティングの方法などは北米の場合と同様の条件で行われた。ただし各領域の格子幅は64.8, 21.6, 7.2, 2.4, 0.8 kmで、上の例は最小領域の出力である。

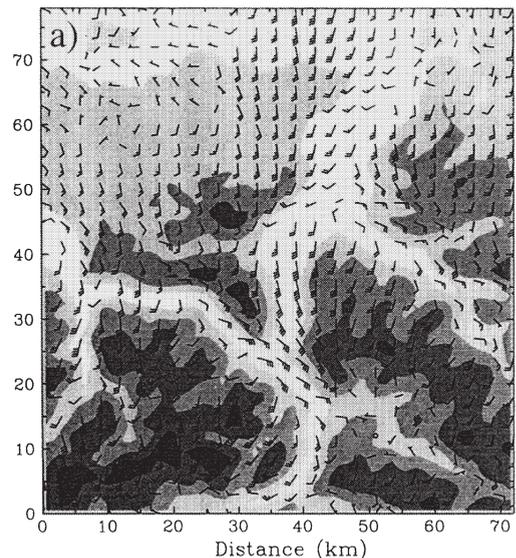


第6図 数値計算結果：Wipp谷に沿った風速の断面、横軸0 km地点 Brenner, 28 km地点 Innsbruck (Zängl, 2003)。

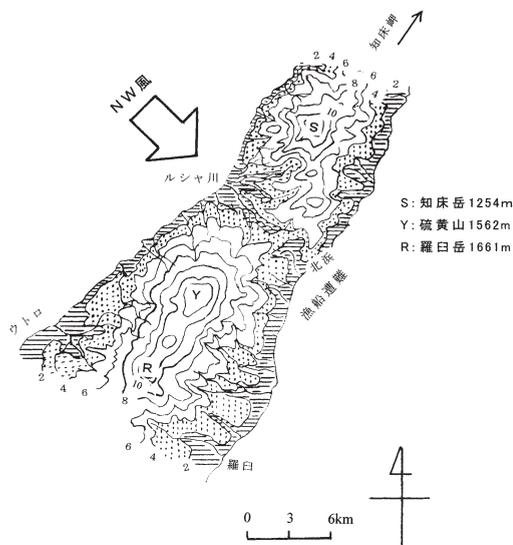
ライン谷のフェーンに関する数値シミュレーションの1部を紹介する (Zängl *et al.*, 2004)。モデルおよびネスティングの方法はヴィッパ谷の場合と同じである。第7図はライン谷とその周辺の風速分布である。ライン谷に沿って下流ほど風が強くなり、谷の出口近くでいったん弱まるが、その下流で再び強まってボーデン湖 (Boden See) まで続く。Zänglらはヴィッパ谷とライン谷におけるフェーンについてこう言っている。

(1) ヴィッパ谷のフェーンには、浅いフェーン (shallow foehn) と深いフェーン (deep foehn) の2種ある。プレナー峠を越える南風の厚さが峠のgapの深さまでの時は、谷に沿った流れがgap windとして下流まで及ぶ。その南風がアルプスの主稜より高いときには、アルプスを越える山越え気流として振る舞う。前者を浅いフェーン、後者を深いフェーンと分類している。

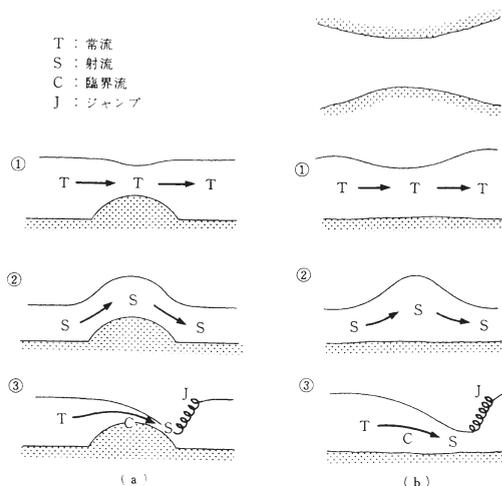
(2) ヴィッパ谷の浅いフェーンの場合、プレナー峠を越えた流れはこの谷に沿って流れ落ちる。この際谷幅が下流ほど広がって流れが横方向へ発散し、上空からそれへの補償流が生ずるため昇温が著しい。風速も下流ほど増す。しかしライン谷の場合には谷筋が曲がりくねりかつ太い支流の影響もあって、ヴィッパ谷ほど単純でない。このためライン谷の中の流れは



第7図 数値計算結果：Rhine谷周辺の地上風、南のChurから北のBoden湖まで (Zängl, 2004)。



第8図 知床半島のgap地図(gap map). 普通の地形図と違い、ここでは低い方にアクセントをつけた。400 m以下の低地がルシャ川から北浜にかけて突き抜けてgapを形成している。



第9図 浅水流によるおろし風 (a) と gap wind (b) のモデル図. (a), (b) とも, ①: 全域が常流(sub-critical), ②: 全域が射流(super-critical), ③: 上流が常流, 山頂で臨界流(critical), その下流で射流, Jはジャンプ. おろし風は(a)-③, gap windは(b)-③.

外の流れと独立ではないようだ。ファドゥツ(Vaduz)の強風と高温は谷の右岸斜面からやってきた下降流に起因する。

#### 4. 日本の場合

日本の局地風の中ではどの風が gap wind に属するであろうか。吉野(1997)の局地風マップから gap wind を探してみる。羅臼だし風, 寿都だし風, 清川だし, 荒川だし, 肱川あらし, まつぼり風などは, 迷いなく gap wind の範疇に入れられるであろう。他の局地風の場合にも, おおかたはおろし風と gap wind の混合型と見ることができるように思う。純粋のおろし風はない!

ここで羅臼だし風について一言述べておきたい。地図を見るとこの風は典型的な gap wind と言うことができる。約50年前, 知床半島東側で NW の突風が吹き, 漁船群が遭難し, 多くの人命を失うという災害が2度あった。1954年の場合40人, 1959年の場合90人という多くの犠牲者を出した。

被災地はどこも谷または川の出口に位置し, 特に漁船が遭難した北浜の上流地形は, 硫黄山と知床岳に挟まれた知床山脈中最も深い gap である(第8図)。知床山脈の主稜は1000 m 以上あるのに, この gap の峠は

300 m ほどの低さである。

著者は1965年から北海道を離れ, 当地の情報から遠ざかっていたのだが, 2004年4月たまたま羅臼だし風が吹いて羅臼町などで被災したことを知った。このばあい出漁中の船がなく, 船の被害がなかったことは幸いであった。しかし上のような災害が過去にあったことは忘れないでほしい。

#### 5. おわりに

熱的に安定な大気において, 風が山にぶつかったとき, 二様の変形を受けて強風となる。1つは山を越えてその風下斜面や麓で強風となり, おろし風を起こす。もう1つは山の中や山の縁の gap を吹き抜けてその出口のところで強風となり, gap wind を生ずる。実際にはこの両者がミックスして起こっていると考えられる。

gap wind はおろし風に比べ, これまで理論的に注意を引くことは稀であった。しかし最近では山越え気流を3次元的に見るとき両者は対等に扱われるべきというようになった。“浅水流として扱うとき, 山を越える流れと谷間を吹き抜ける流れは同等に振る舞う。”というのは, 1968, 69年に著者の指摘したところである(第9図)。いまこれが Zängl(2002), Zängl(2004), Pann

and Smith (1999) ほかにも注目されていることを付記しておく。著者の理論は定常状態における議論であったが、Pann and Smith (1999) や Zängl (2002) は、モデル地形をもとに数値解を求め、山越えと谷吹き抜け流の相対的効果を量的に評価している。

いまここに紹介したほかにも多くの研究が活発に進められている。それらを一々ここに挙げなかったが、以下の参考文献から読み取っていただきたい。

本文は第49回山の気象シンポジウム (2005年6月18日) における講演を骨子としたものである。

末筆ながら、Flohn の著書と図について教えをいただいた田宮兵衛教授 (お茶の水女子大学) に、また文献閲覧についてお世話いただいた水野 量助教授 (気象大学校) に感謝する。

#### 参 考 文 献

- American Meteorological Society, 1970 : Glossary of Meteorology, 638 pp.
- American Meteorological Society, 2000 : Glossary of Meteorology, 855 pp.
- Arakawa, S., 1968 : A proposed mechanism of fall winds and dashikaze, *Pap. Meteor. Geophys.*, **19**, 69-99.
- Arakawa, S., 1969 : Climatological and dynamical studies on the local strong winds, mainly in Hokkaido, Japan, *Geophys. Mag.*, **34**, 359-425.
- 荒川正一, 2004 : 局地風のいろいろ 2 訂版, 成山堂書店, 157pp.
- Bond, N. A., C. F. Mass, B. F. Smull, R. A. Houze, M. Yang, B. A. Colle, S. A. Braun, M. A. Shapiro, B. R. Colman, P. J. Neiman, J. E. Overland, W. D. Neff and J. D. Doyle, 1997 : The coastal observation and simulation with topography (COAST) experiment, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 1941-1955.
- Bougeault, P., P. Binder, A. Buzzi, R. Dirks, R. Houze, J. Kuettner, R. B. Smith, R. Steinacker and H. Volkert, 2001 : The MAP special observing period, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **82**, 433-462.
- Colle, B. A. and C. F. Mass, 1998a : Windstorm along the western side of the Washington Cascade Mountains. I. A high-resolution observational and modeling study of the 12 Feb. 1995 event, *Mon. Wea. Rev.*, **126**, 28-52.
- Colle, B. A. and C. F. Mass, 1998b : Windstorm along the western side of the Washington Cascade Mountains. II. Characteristics of past events and three-dimensional idealized simulations, *Mon. Wea. Rev.*, **126**, 53-76.
- Colle, B. A. and C. F. Mass, 2000 : High resolution observations and numerical simulations of easterly gap flow through the Strait of Juan de Fuca on 9-10 Dec. 1995, *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 2398-2422.
- Flohn, H., 1954 : *Witterung und Klima in Mitteleuropa*, S. Hirzel Verlag, Zuerich.
- Gabersek, S. and D. R. Durran, 2004 : Gap flows through idealized topography. Part I. : Forcing by large-scale winds in the nonrotating limit, *J. Atmos. Sci.*, **61**, 2846-2862.
- 日本気象学会編, 1998 : 気象科学辞典, 東京書籍, 637pp.
- Pann, F. and R. B. Smith, 1999 : Gap winds and wakes : SAR observations and numerical simulations, *J. Atmos. Sci.*, **56**, 905-923.
- 関口 武, 1985 : 風の事典, 原書房, 961pp.
- Sharp, J. M., 2002 : Columbia Gorge gap flow, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **12**, 1757-1762.
- Weissmann, M. D, Mayr, G. J., Bonta, R. M. and Gohm, A, 2004 : Observations of the temporal evolution and spatial structure of the gap flow in the Wipp Valley on 2 and 3 Oct. 1999, *Mon. Wea. Rev.*, **132**, 2684-2697.
- 矢沢大二, 前島郁夫, 1998 : 気候の教室, 古今書院, 186 pp.
- 吉野正敏, 1995 : 気候学, 大明堂, 350pp.
- Zängl, G., 2002 : Stratified flow over a mountain with a gap : Linear theory and numerical simulations, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **128**, 927-949.
- Zängl, G., 2003 : Deep and shallow south foehn in the region of Innsbruck : Typical features, *Meteor. Atmos. Phys.*, **83**, 237-261.
- Zängl, G., B. Chimani and C. Häberli, 2004 : Numerical simulations of the foehn in the Rhine Valley on 24 Oct. 1999 (MAP IOP 10), *Mon. Wea. Rev.*, **132**, 368-389.