

## 1993年5月5日中国北西部で発生した砂嵐について

竹見 哲也・板野 稔久・光田 寧

ON THE DUSTSTORM IN THE NORTHWEST OF CHINA ON MAY 5, 1993

By Tetsuya TAKEMI, Toshihisa ITANO and Yasushi MITSUTA

### Synopsis

On May 5, 1993, a heavy duststorm occurred in the northwest of China, a desert area, spreading over 250 km from the northwest to the southeast, accompanied by strong winds (over 20 m/s), and some people were killed. A cold front passed the area on the day, but the duststorm is considered to have been accompanied by a downdraft from cumulonimbus clouds in the pre-frontal squall line.

We consider the event is the same phenomena as the duststorms that occurs also in the northern desert of Africa.

### 1. はじめに

1993年5月5日午後、中国北西部甘粛省で大規模な砂嵐が発生し、死者43人、経済損失約20億円の多大な被害をもたらした。中国の報道によれば、砂嵐により周辺は昼間にもかかわらず真っ暗となり、風速25m/sの強風が吹いていたという。死者のほとんどは子供であった。中国で映されたVTRによれば、風により木は折れ、家屋の屋根は飛ばされており、砂は数cm程積もっており、砂嵐の激しさを示している。

中国では砂嵐は「黄風」「黒風」と呼ばれ、砂嵐について書かれた古い文献 (Flammarion, 1888)<sup>1)</sup>では、竜巻が描かれている。季節的には、冬の終わりから春にかけてしばしば発生するが、この時の気象状況はシベリヤ高気圧が卓越しているときで風向は主に北東であり、この風が強いときに砂嵐になるとされている。中央アジアの主な風系は北西、北、北東であり、この風系は南側の大山脈により決定されるといわれ (Petrov, 1966)<sup>1)</sup>、これらの方向から来る砂嵐は規模が大きいとされている。こういった状況で発生した砂嵐を観測した1932年の古い記録がある。中央アジア (ゴビ砂漠南辺) の2つの観測点で47のdust stormが観測され、うち44は北西から、3は東からのものであり、更に1月に観測された5つ、3月に観測された2つは台風規模の強さで北西から進行してきた (Haude, 1940)<sup>1)</sup>。これらは、シベリヤ高気圧の風系によると考えられるが、シベリヤ高気圧の勢力が弱まった春から夏にかけても、低気圧による前線のために、砂嵐になることもあるという。1951年から1980年の張掖における気候統計によれば<sup>2)</sup>、砂嵐の発生した回数は年平均20.3回、4月の3.8回を最高に春に比較的多いといえ、これは低気圧の前線の活動によるものであると考えるのがよいだろう。しかし、このような数値は砂嵐をどのくらいの規模から定義するかによるし、もともと人口の少ないところであるから、観測されていない例もあるであろう。またこの地域の表面の砂は大変乾燥しており、それほど強い風でなくとも飛散しやすいということも考慮に入れる必要がある。

ここでは、1993年5月5日の砂嵐が規模としては大変珍しいものの、現象それ自体は、寒冷前線の通過という日常的な背景で起こったことに注目したい。GMS画像によると、寒冷前線の南下と共に、前線面が高層の雲が発達して行くが、その暖域側に対流性の雲が発達し、これらが巨大な積乱雲群となった。5月5

日の砂嵐はこの積乱雲からの downdraft にともない発生したと考えられる。この積乱雲群を、ここでは prefrontal squall line とよぶことにする。ただ、この言葉の定義はあまり明確ではなく、Cotton and Anthes<sup>3)</sup>によれば、低気圧の暖域側において暖気が地表の cold front の手前で上昇し、cold front に沿って、あるいはその前面で形成される不連続線としている。NIMROD (Northern Illinois Meteorological Research on Downbursts) において 1978 年 6 月 17 日から 18 日に観測された中緯度の squall line は、最初、cold front に沿って発達し、その前面を進み始めた。ここで、“prefontal” な特徴を現し、squall line を形成する個々の cell は、30 分から 40 分の寿命で北東に進行していくが、squall line 自体は南東に進み、line より 25km 先で新たな cell が形成され、発達していった。長さ 2000km、幅 70km から 200km まで発達し、15m/s の速さで移動したが、これは cold front より速い<sup>3)</sup>。また、佐橋他<sup>4)</sup>は 1991 年 6 月 27 日岡山県南部で発生した強風について、梅雨前線にともなって発達した線状に組織化された積乱雲群を pre-cold frontal squall line と呼んだ。いずれにしても、cold front に対して暖域側に積乱雲が発達し、線状に組織化された点で共通している。したがってここでも、prefrontal squall line をそのような特徴を持つもの、と定義した。

また中国のこの地域のほかの強風の例と比較しながら、どのくらいの頻度の現象なのかを議論し、更にアフリカの砂漠地帯で発生する dust storm と比較した。

## 2. 1993 年 5 月 5 日の砂嵐発生場所とその状況

砂嵐が発生したのは中国北西部甘肅省の金昌・武威・白銀を中心にして北西から南東に広がっている。場所は、Fig. 1 に示す。金昌から白銀までは 280km にもおよび、その line に垂直な幅は 100km 近くであり、強弱の差こそあれ、かなり広範囲に渡っている。この地域の北側にはゴビ砂漠が広がり、南側には 5000m 級の祁連山脈が連なる。祁連山脈はこの地域の風系を決めるといわれ、5 月 5 日の風向もこの山脈に沿った南東・北西方向が卓越している。photo. 1 を見ると、一つの街を覆い尽くしてしまうほど大規模な dust-storm であり、ほぼ横一線になって下層部の接地層の上端くらいが先行する形で進行している。地表面との摩擦のために先頭部はとがっており、所々に割れ目があり duststorm の内部の風の場合が一様でないことを示唆している。duststorm の進行の様子は、密度の大きい流体が、密度の小さい流体中を進行するときの重力流に似ている<sup>5)</sup>。

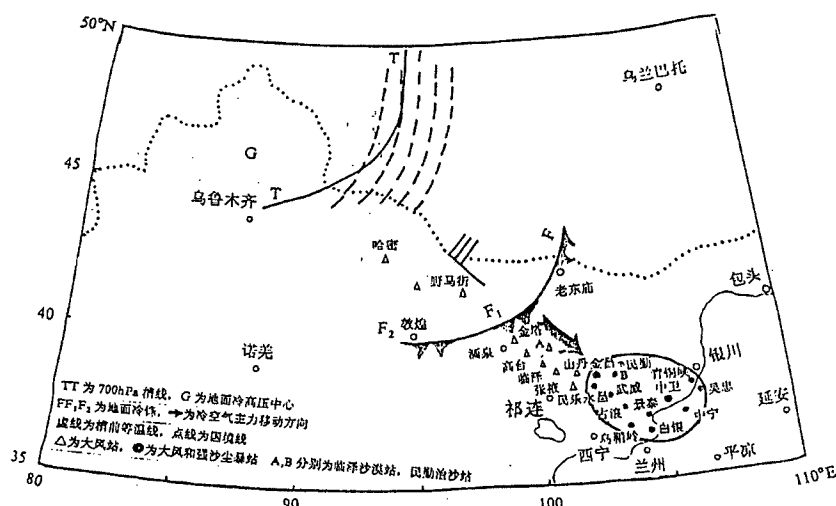


Fig. 1 The duststorm-hit-area in the northwest of China. (Enclosed by a solid line)



Photo. 1 The duststorm front. (Taken from a chinese TV news)

### 3. 1993年5月5日のデータ解析

GMS 画像は防災研究所暴風雨災害部門で1時間毎に受信しているものであり、7時30分 (GMT) までは可視・赤外ともにあり、8時30分 (GMT) からは赤外画像のみである。赤外データは、等価黒体温度 (Tbb) に変換して用いた。

地表データとしては、蘭州高原大気物理研究所の御好意で収集して頂いた3時間ごとの中国各観測点 (90E-110E, 35N-45N にある 39 カ所) における気象要素データに加えて、永昌・民勤2カ所の気象台の自記記録、及び HEIFE プロジェクトのために設置されている自動気象観測点 (AWS) のうち、平川地区 (Desert-E, Desert-S, G9)・民勤の4カ所の連続記録 (10分毎)、計6カ所である (fig. 2)。民勤 AWS の降水等のデータは欠測しており、民勤の降水のデータはない。

民勤気象台のデータでも、降水の記録は抜けているが、3時間ごとのデータに前3時間の積算降水量の値があり、これを用いた。AWS のデータは、風速以外は瞬間値であり、風速は電氣的なフィルターをかけて平均化している。

#### 3.1 総観規模の気象状況

1993年5月4日12時 (Z) の気象庁発行の500hPa 高層天気図よれば、東経90度付近にtroughがありその南端は北緯45度に達している。1日後の5日21:00の500hPa 天気図では、このtroughは東経100度に東進し、先端も北緯40度まで南下しており、それに応じて、850hPa 天気図でも寒冷前線が通過している (fig. 3)。

民勤の高層観測データより、5日8時、5日20時

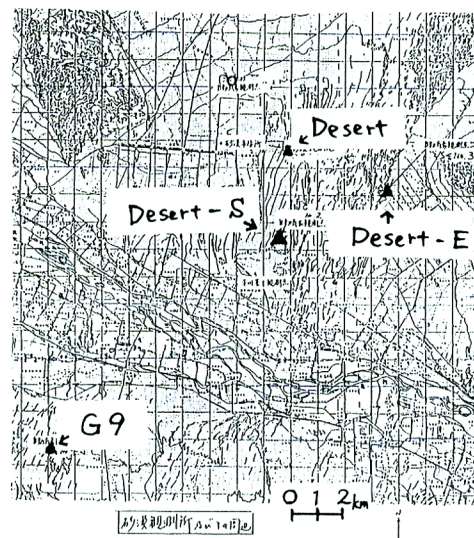


Fig. 2 The point of automatic weather station at Pingchuan.

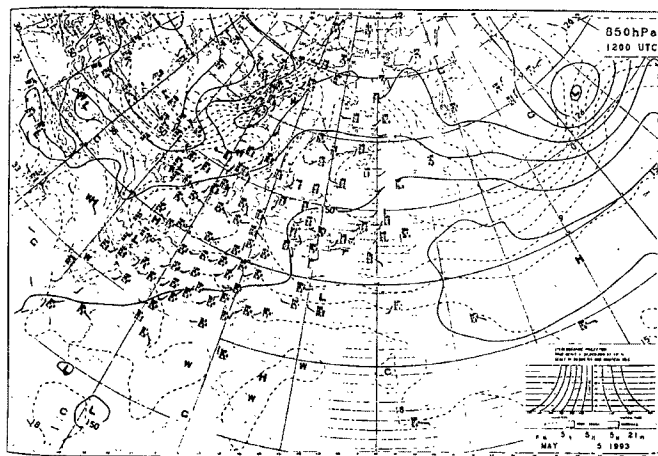


Fig. 3 850hPa weather map for 12Z May 5, 1993.

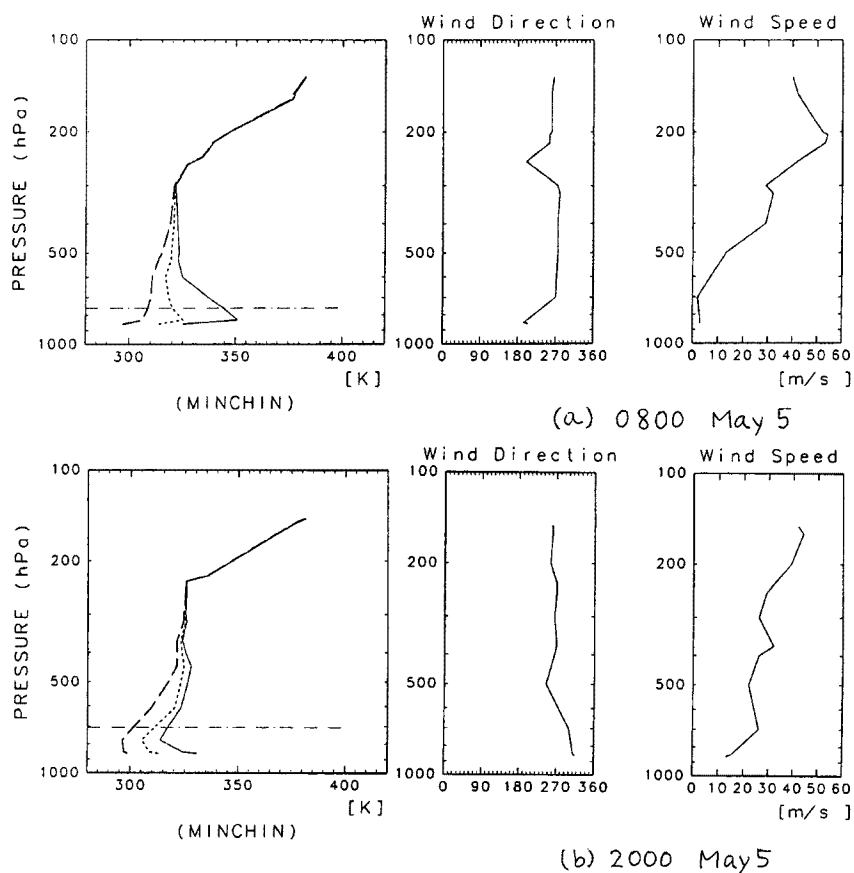


Fig. 4 Vertical profiles of potential temperature (dashed line), equivalent potential temperature (dotted line), saturated equivalent potential temperature (solid line), wind direction and wind speed at Minchin at (a) 0800 May 5 (b) 2000 May 5 (BST).

(BST) の温位, 相当温位, 湿潤相当温位の鉛直プロファイルを図. 4 に示す。5 日 8 時には, 接地層に逆転層が存在しているが, これは夜間の放射冷却により, 地表近くが安定化したためと考えられる。しかし,

その上層は強い条件付不安定な大気状態にあることが分かる。ここで、大気成層の不安定度を示す指数として Showalter stability index を用いる。この指数は、850hPa の気塊を乾燥断熱的に凝結高度まで持ち上げ、そこから擬湿潤断熱的に 500hPa まで上昇させたとき、その気塊の温度を 500hPa の環境の温度から引いた値として定義され、+4 以下になると積乱雲が発達しやすくなるとされている。しかし民勤という場所は高度 1367m に位置し地表気圧が 860hPa 前後であるので、上述のとおり 850hPa の値をそのまま用いるとほぼ地表の気塊を持ち上げることになるので不都合である。したがって、ここでは、上層（700-850hPa の特異点のデータ）から 850hPa まで補外して計算した。気温についてはもっとも近い上層の気温減率から線形外挿したが、露点温度の外挿については単純ではない。仮に、混合比が保存すると仮定して計算すると、SSI = 0.46 となる。すなわち、Showalter index は +1 未満の小さい値であり、午前 8 時の段階で大気は、積乱雲が発達しやすい不安定な状況下にあったといえる。これは寒冷前線の接近により、南からの、比較的湿った高温の大気が下層に流れ込み、上層には寒気があるためである。5 日 20 時には、下層には温位の低い空気が移流されてきており、寒冷前線が通過したことを示している。

GMS 画像データによりこの地域の雲の発達過程を調べてみた。民勤の高層観測から、圏界面を -58 度（高度約 13km）と決め、この高さを越える雲頂の領域の広がりを追うことにした。上層の front の前面に発生する圏界面を越える雲の領域は、13 時 30 分（中国時間 BST、これからも断りのないかぎり時間は中国時間とする）から現われ始め、時間を追うごとに広がり、16 時 30 分には、砂嵐の報告がある地域に到達している（**photo. 2, fig. 5**）。この圏界面を越える領域の雲は可視画像から積乱雲と判断できる。16 時 30 分の圏界面を越える領域は、北東から南西方向に約 200km、それに垂直な方向には約 90km で、かなり大きな積乱雲群に発達している。その後も更に線状に組織化され、発達しながら東進していく。圏界面を越える雲を追うことにより求めた 15 時 30 分から 19 時 30 分の間の平均の移動速度は約 25m/s であり、高層の風速 30m/s から 40m/s と比べるとやや遅いものの、一般流に流されながら移動してるといえる。それに対し、いわゆる cold front の圏界面を越える線を追うと、14m/s で東進し、積乱雲よりも遅い。したがって、積乱雲群と寒冷前線に伴う雲とは別のシステムによるものだと、とらえたほうがよいと考えられる。

地表面の 3 時間ごとのデータ（14 時、17 時、20 時）により、周辺の場の気象要素の変化を見ると、17 時に張掖（38.38N, 100.26E）における前 3 時間の気圧変化量が大きく増大しており、その周辺の風向場は、北西から西であり、気温降水量も大きい（**fig. 6**）。気圧の正の変化は、寒冷前線の通過を示唆しているが、その変化量は一樣ではなく、局所的に大きいところがある。このことは、この地域に単に寒気が移流されてきたと考えるよりも、冷たい空気の下降流があったと捉えるとよいと思われる。これは、GMS 画像で見た積乱雲群による降水により生じたものであると考えられ、このシステム自体が東進しているため、下降流も地表にぶつかるとともに西風となる。この局所的に大きい正の気圧変化量を示す地域は、南側にある祁連山脈の影響を受けており、風向場もその山脈に平行な方向が卓越している。また、前 3 時間の降水量も示したが、砂嵐が発生した地域には降水が観測されていないものの、降水のあった観測点も数ヶ所存在する。前線の通過にともない降水は微量ながら存在していた。

### 3.2 局地気象変化

砂嵐の報告がある地域の民勤、永昌の気象台のデータ（**fig. 7**）では、永昌で 16 時 10 分、民勤で 16 時 40 分に風速が強まり、各々 17 時 42 分に 18.0m/s（WNW）、16 時 55 分に 20.5m/s（NW）の最大平均風速を記録している。永昌では気温は 16 時 10 分から 30 分の間に、6℃も急激に下降しているが、この変化は気圧上昇の後に起こっている。民勤 AWS の記録では（**fig. 8**）、風向が NW に変わるとともに 16 時 30 分に気圧が上昇、その後に風速が強まり、気温は 16 時 40 分から 30 分間に 10.7℃下降している。その後 2 時間に渡って 15m/s 以上の風が吹いている。17 時前後には日射もほぼゼロになり、積乱雲もしくは砂嵐により太陽光が完全に遮られてしまったことが分かる。注目すべきことは、永昌気象台の観測によると、降水はゼロであったことである。民勤においても、3 時間ごとのデータによれば降水はゼロであった。

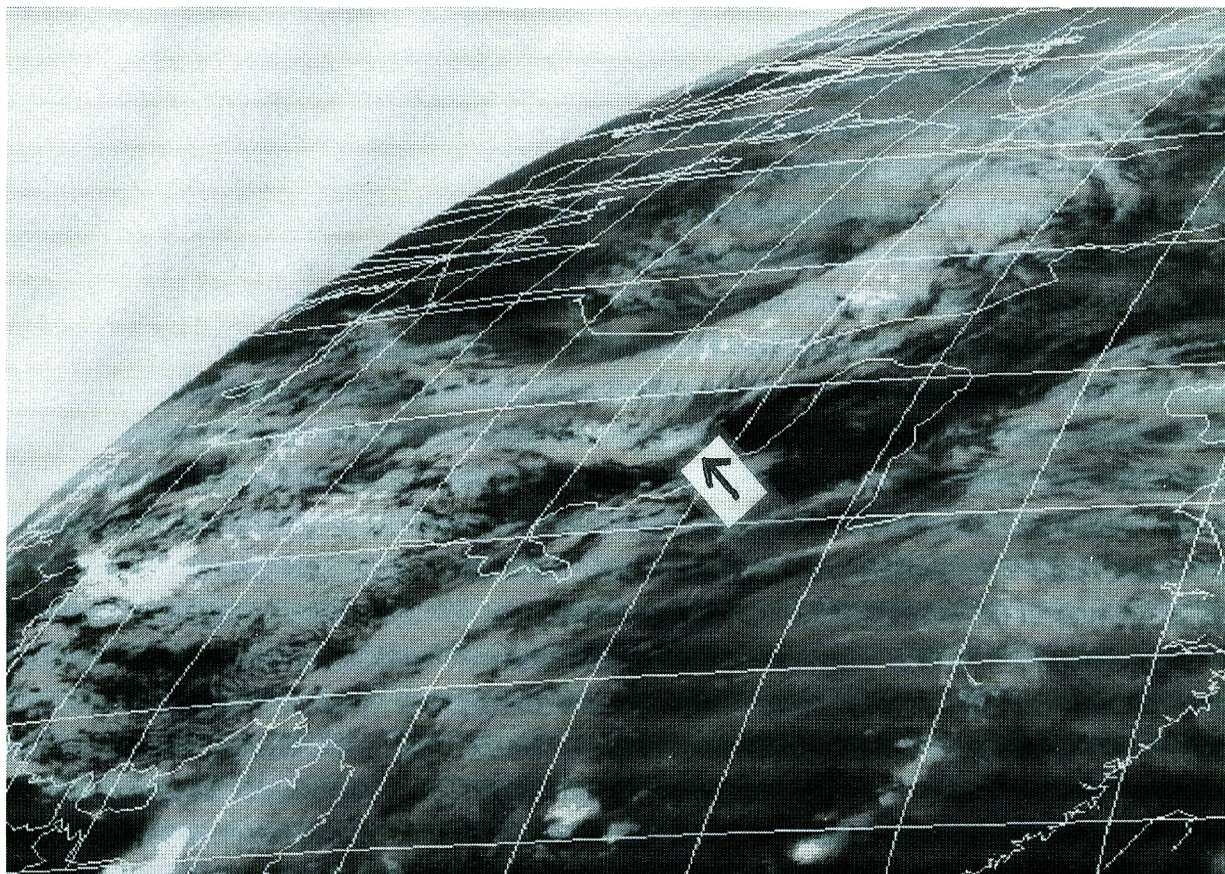


Photo. 2 GMS IR image of May 5, 1993 at 1630 (CLT). Arrows indicate duststorm cells.

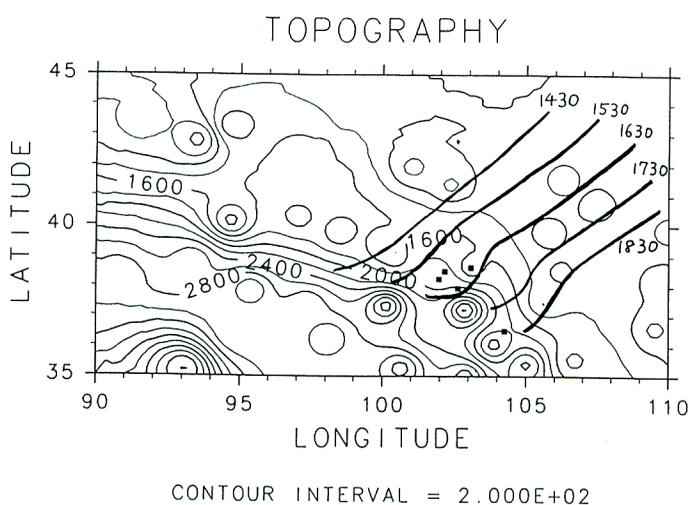


Fig. 5 Passage of the pre-frontal squall line (solid lines). Square points show storm-damaged towns.

一方、この地域から北西方向に200km以上離れた、平川の3カ所のAWSの記録は、民勤の記録と少し異なる (fig. 9)。11時40分にそれまでのSEからNに風向が変化するが、風速はやや強まる (約6m/s)

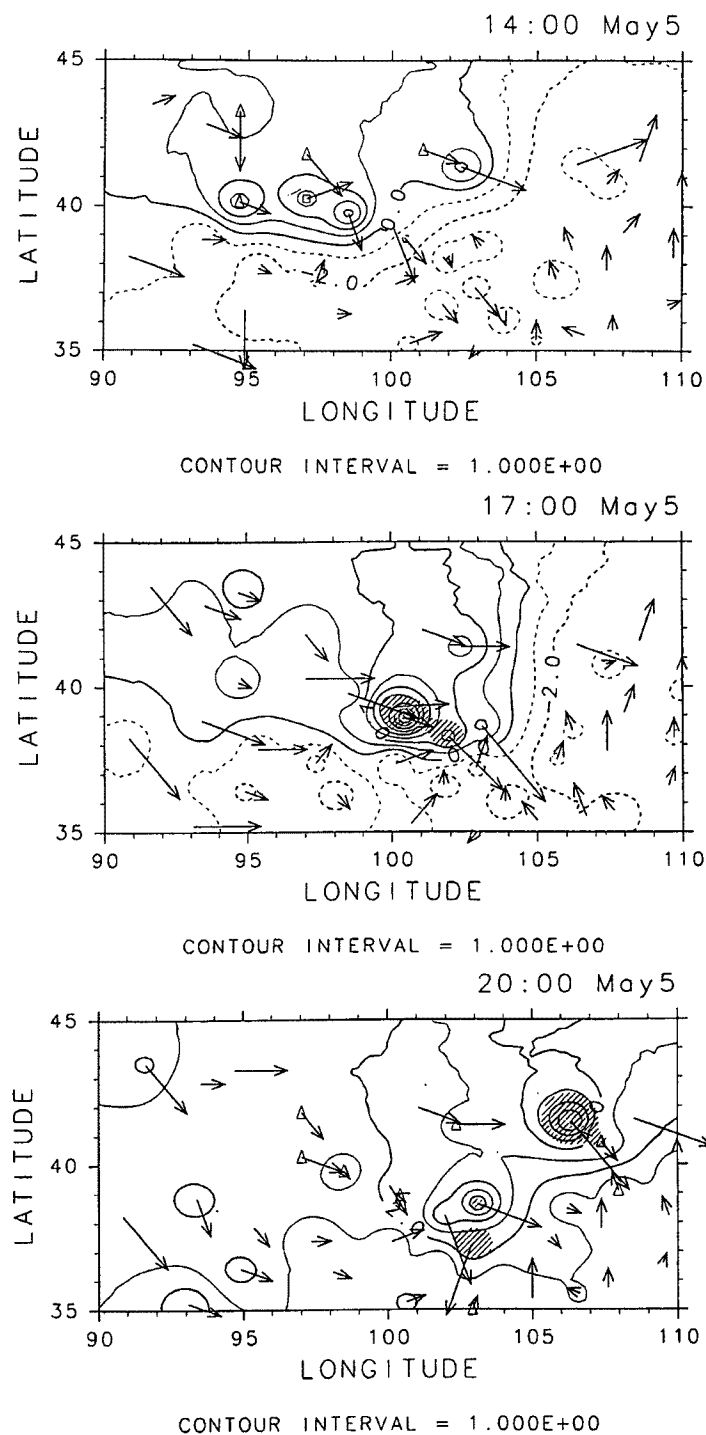


Fig. 6 Wind field and pressure deviation for past 3 hours (Solid lines show positive sign.) at 1400, 1700 and 2000 (BST). Contour interval is 1 hPa. Hatched area shows that the temperature fall in past 3 hours is more than 6 degrees.  $\triangle$  and  $\square$  shows total rainfall for past 3 hours:  $\triangle$  shows less than 1 mm and  $\square$  shows more than 3 mm.

程度である。急激な気象変化がみられるのは Desert-E で 13 時 20 分, Desert-S で 13 時 30 分, G9 で 13 時 40 分であり, 風速強化・気温降下・気圧上昇がほぼ同時に起こっている。更に, G9 では 14 時 30 分に風速

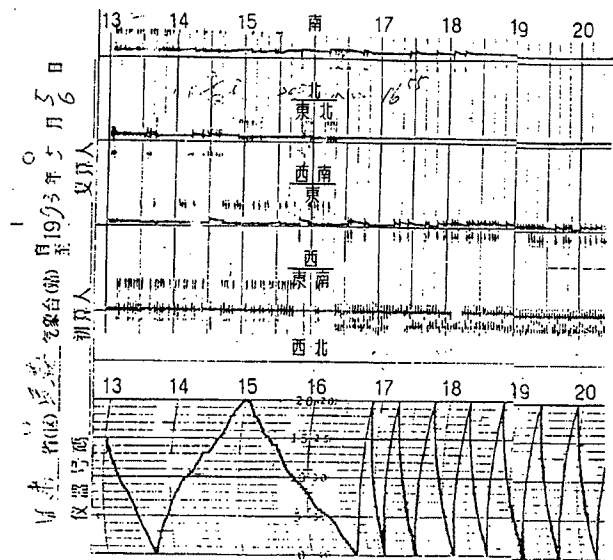
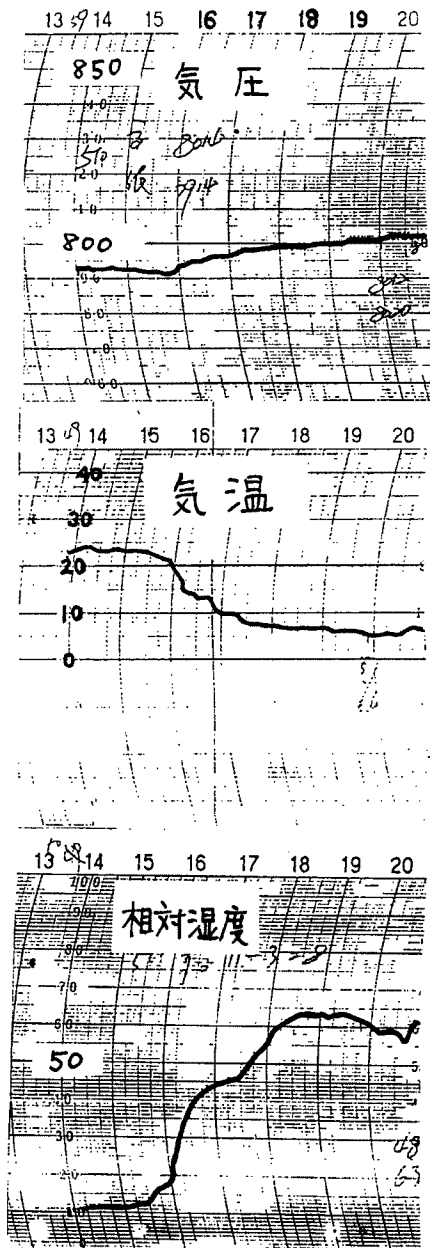


Fig. 7 Weather changes at Minchin (right) and Yonchang (left).

が最大になり (17m/s) になり、気温も更に下降し、気圧も上昇している。Desert でも、降水はゼロであった。GMS 赤外データによれば、13 時 30 分には圏界面を越える領域は小さいものの、14 時 30 分にはかなり広がっており、13 時 30 分の変化と 14 時 30 分の変化とは異なったシステムによっていると考えられる。

この変化は次のように考えれば良いのではないか。13 時 30 分の風速強化は比較的小規模の積雲からの下降流によるものであり、降水がゼロであることから、雨滴は地表面に到達するまでに蒸発し、空気は冷却され、気温が下がっている。この cold outflow により条件付き不安定な成層から積乱雲が発達し、それから downdraft があったため、次の 14 時 30 分の気象変化につながった。この変化ののち 16 時を過ぎてからわずかではあるが、気温が上昇し、気圧も下降している。こういった気象変化前面は、Browning, et. al による積乱雲についての概念モデル<sup>6)</sup>と似ている (fig. 10)。すなわち、相当温位の低い空気が下層に流れ込み、積乱雲内部にあるひょうは、下層が乾燥しているため昇華して気体となり、さらに空気は冷却され、地

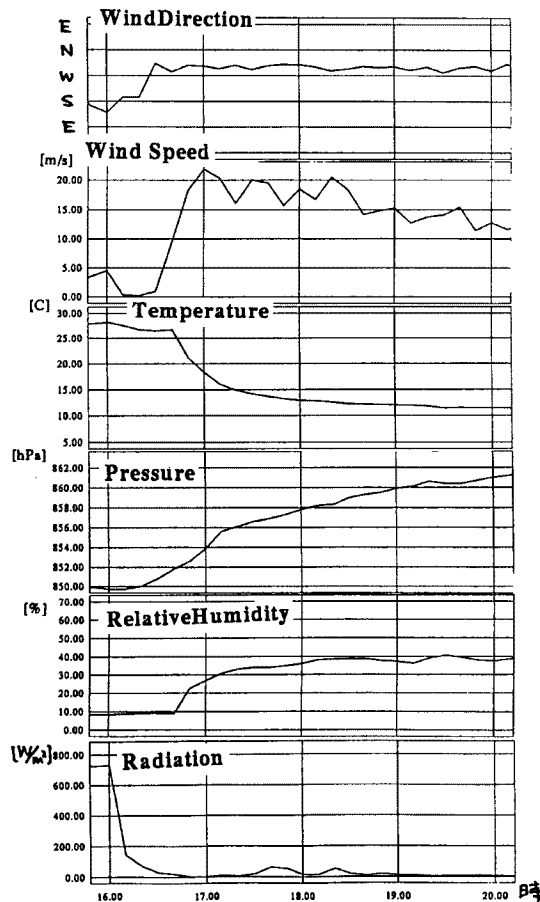


Fig. 8 Weather data at Minchin AWS.

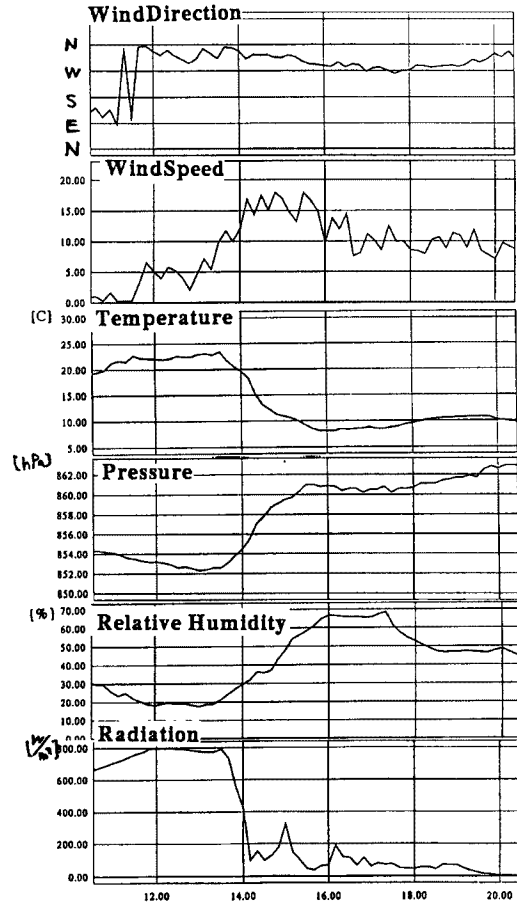


Fig. 9 Weather data at G9, Pingchuan AWS.

表での気温変化となったのである。平川の3ヶ所のAWSの記録で、もう一つ特徴的なのは、強風の際の風の場である。これら3ヶ所の観測点では、すべて、北西方向である。この強風を積乱雲の下降流によるとすれば、システム全体としては、南東方向に進行していると考えられる。

#### 4. 砂嵐発生機構の考察

5月5日砂嵐が発生するまでは、武威・金昌周辺は寒冷前線の暖域側にあり、平川及び民勤の風向はSからSEであった（永昌は終日WからNで、これは永昌は祁連山脈の麓にあるという地形的な影響と思われる）。民勤の高層データから、この地域は条件付き不安定な成層をしていた。14時30分からcold frontの前面に圏界面を越える雲の領域、即ち積乱雲が発達し始め、次第に線状に組織化されていった。この積乱雲群はcold frontより速く進行し、前線の前面に発達したことからこれは、prefrontal squall lineと呼ぶべきものである。このprefrontal squall lineの通過にともない、各AWS、気象台は急激な気象変化を記録していることから、**fig. 10**のような状況であると考えられる。squall lineの通過した後、時間が経っても民勤や永昌で気温の上昇がみられなかったのは、日射が弱くなってから通過したため、地表が温められることがなかったからである。

この変化をもたらしたのは、synopticにはcold frontが通過したと考えて良いだろうが、いわゆる、天気図に示されているようなcold frontが、はっきりとした境界となって地表を移動していく、という見方を砂嵐が発生したことの理由にするには大雑把であるし、またcold frontということばが、synoptic scaleで

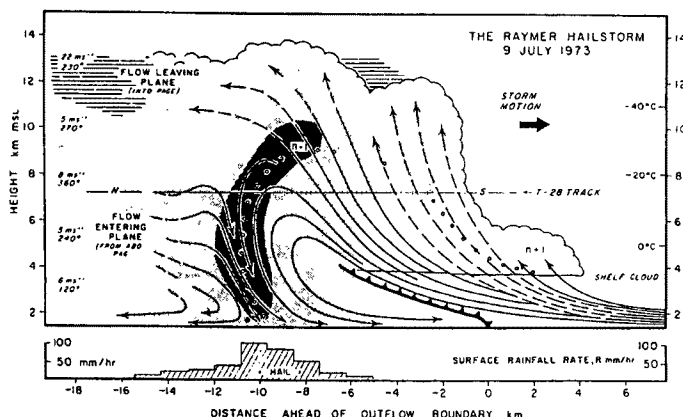
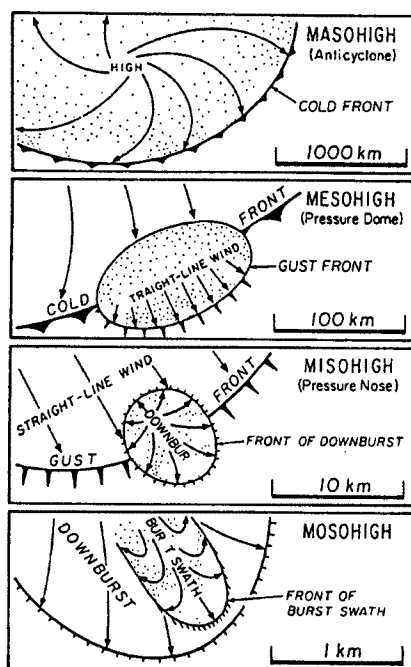


Fig. 10 Schematic model of thunderstorm by Browning, et al.

用いられる言葉であるという点で不適切である。synoptic scale での地表での cold front の前面に発達した prefrontal squall line が砂嵐が発生した原因となったと考えるのが適切であろう。それは、数 100km のスケールで広がり、25m/s の高速で東進し、cold front より速く移動しているという点で、異なる力学に支配されていると考えられる。したがって、prefrontal squall line と cold front とは、分けて考えるべきである。そして、積乱雲群が東向きに進んでいるため、その下降流も東向きの運動量を持ち、地表にぶつかると西風となる。この下降流中の雨滴は、地表に到達するまでに蒸発して大気を冷やすため、空気は更に下降する。降水がゼロであったのは、下降流中の雨滴が地表面に到達する前に、途中で蒸発したためだと考えられる。これは世界各地で報告されている寒冷前線付近の下降流に伴う強風の機構と同じであると考えられる。

下降流の外出流の先端は、gust front となり、砂を巻き上げながら進行した。この流れは、密度の大きい流体が密度の小さい流体を進行していく時の流れ、重力流のように振る舞っている。gust front が通過した際の気象変化に関して、アメリカ・コロラドで 1982 年及び 1984 年の夏に行われた観測 (JAWS, CLAWS, MAYPOLE) によれば、気圧の上昇の後に、風速が強くなり気温が下降していることが確かめられているが<sup>7)</sup>、この変化と、民勤の AWS の記録が示す気象変化は似ており、砂嵐の進行は gust front の通過ととらえられる。gust front が砂により、可視化されていると考えれば分かりやすい。しかし、この強風により移動する砂の量は非常に多いものと考えられ、農作物への影響も単に風だけの場合よりもずっと大きい。

また、風速の記録を見ると、常に一樣な強風が吹いているわけではなく、突発的な強風が 20 から 30 分おきに吹いている。これは、prefrontal squall line からの下降流の中に小さなスケールの現象の存在を示唆しており、この突風は、下降流の中でも特に強かったもの、すなわち、個々の積乱雲からの downburst であったと考えられる。こういった cold front の多重スケール構造は、fig. 11 によくしめされている<sup>8)</sup>。Fujita が発見した downburst は、積乱雲の下降流 downdraft のなかで特に強いもの、と定義されている。Fujita がここで強調している

Fig. 11 Schematic model of mesoscale structure in cold front.  
(Adapted from Fujita, 1981)

ことは、一般にメソスケールといわれる現象の中においても、さらに微細なスケールに分ければ、それに応じた現象が存在しているということであり、現象の階層性を重視している。

平川の3カ所のAWSと民勤の地表変化（風速・気温・気圧）とのずらし相関をとることにより、変動の移動速度を求めると、風速データの相関はあまりよくなく（0.8以下）、気温については0.9、気圧の相関が一番よく、0.98である。気圧の相関から変動の移動速度を求めると、24m/sという値が得られる。この値は、GMSから見た prefrontal squall line の移動速度に近い値となっている。このことは、各地点の気象変化を起こしたのは、prefrontal squall line によるものであることの間接的な説明になっているであろう。

## 5. 砂漠地帯での Severe Storm

5月5日の強風は、民勤AWS観測データの中でも最大21.8m/s（5分間平均風速）を記録しており、局的瞬間的には、さらに強い風に見舞われた地域があることは十分考えられる。そして、その原因は prefrontal squall line の積乱雲群からの downdraft に起因したのと推定された。

1990年8月1日から1991年12月31日までの民勤の高層観測データとともに報じられた20時の地表風速で10ノット（1m/s=1.994ノット）を超えるのは、518日中4度しかない。今回の5月5日20時の高層観測時の地表風速は13m/sだから、この砂嵐の際の強風はたいへん希なものであることが分かる。もちろん、20時の風速のデータしかないため、昼間に発生した突発的な強風は、とらえることはできていない。また、その期間の Showalter index は **fig. 12** のようになる。夏に低く、冬に高いという年変化を示しているが、この値が4以下になるのは104日あり、さらに1以下になるのも23日あり、SSIが1以下という状況は、しばしば起こることが分かる。すなわち、この場所で夏期に積乱雲の発達する可能性の大きいことを示している。ただし、このSSIは、下層の逆転層を避けるため、上層から850hPaまで補外して計算した（気温は線形補外、混合比保存）。

同じ1990年8月1日から1991年12月31日までの張掖の14時、20時の風速で、10m/s以上になるのは2度しかない（1990年12月20日・1991年7月20日、ともに10m/s）。先に示した張掖の気候統計によれば、年平均20.3回の砂嵐が発生しているのだから、ここでいう砂嵐は、小規模なものも含めて砂が巻き上げられる現象のことをいっているのであろう。この地域では、少しでも強い風が吹いたときには砂嵐になるのは容易に考えられる。強風が吹くのはどういう時かが問題となるが、やはり、極端に強い風は今回のような downdraft に伴うものであると思われる。

また、同じ地域における severe storm として1992年7月19日に、孤立した積乱雲からの downdraft とみられる激しい降雨、降ひょうをともなった強風が、平川の観測点 Desert において観測されている<sup>9)</sup>。この時、総観規模では低気圧に覆われていたが、前線の影響はみられない。乾燥地帯とはいえ、単独の積乱雲が発達して、その downdraft のために強風に見舞われることは、ときどきあるのではないであろうか。

砂漠地帯は乾燥しているというものの、前線活動により severe storm が発生するのは、中国に限ったことではないようである。例として、アフリカの砂漠地帯の dust storm がある。Griffiths の記述によれば<sup>10)</sup>、アフリカのサ

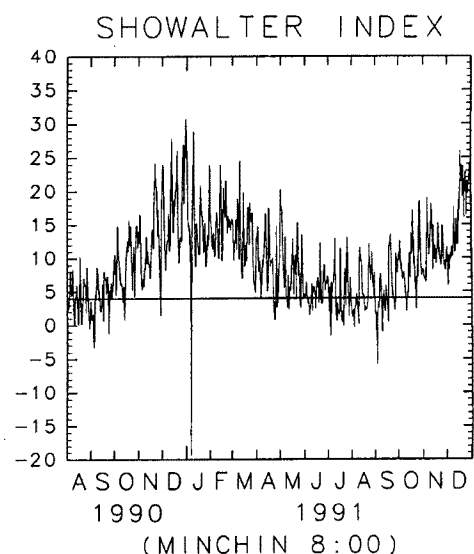


Fig. 12 Annual change of S.S.I. (from aug. 1990 to Dec. 1991)

ハラ砂漠の東側エジプト、スーダンにおいては、冬（12月-2月）から夏（6月-9月）に移行する時期に、すなわち、I.T.C.Z. が赤道域から北進するときに、dust storm がしばしば発生する。冬には、極側の冷たい乾燥した空気が西ないし北西方向から地中海に流れ込み、地中海側が熱源となって、ここが低圧部となる。この低気圧が東に移動し、エジプトでは、南西風が卓越する。このとき、地中海から水分が供給され、大気下層が不安定となり、激しい降水に見舞われることがある。またこの低気圧が発達するときには強風が吹き、sandstorm になることもあるが、これは front 活動とは異なるとしている。しかし、春（3月から5月）になると、I.T.C.Z. が北によるため、東地中海にあった低気圧がスーダン南部に移動する（fig. 13）。エジプトでは khamsin condition と呼ばれる温暖で乾燥した南風がある。この南風と北からの冷たい風とで cold front ができ、この front 面もしくはその前面で、強風に伴う sandstorm が発生することもあるという。また、thunderstorm により severe storm になることもあり、thunderstorm の上昇域で発生する tornado タイプ、下降域で発生する downdraft タイプが、ともに生じ得る。

結局、砂漠地帯とはいえ、アフリカにおいても、1993年5月5日の砂嵐と同様に、低気圧の front の前面で duststorm が発生することはあるようである。

## 6. まとめ

1993年5月5日の砂嵐は寒冷前線の通過にともなって発生し、気圧、気温、風速などの急激な気象変化をもたらしたが、これは竜巻のような旋回性のものとは考えられない。多大な被害を及ぼし、中国でも大きく報道されたようで、規模としてはまれに見るものであったのであろう。しかし、その背景は寒冷前線の通過という、日常的な現象であった。従って、砂嵐になる特別な現象と言えるようなものではなく、世界共通の積乱雲からの downdraft に伴った強風がここでも生じていたのである。とはいえ、単に寒冷前線が通過しただけだととらえるのは、synoptic scale からすればよいかも知れないが、10km から 100km のオーダーのスケールの現象だから、そのスケールに応じた見方をすべきである。5月5日の場合は、民勤周辺の大気成層の不安程度が高く、cold front の接近がきっかけとなり積乱雲が発達し、それが線状に組織化され、prefrontal squall line を形成した。それは、砂嵐が発生したときには 200km に及んだが、cold front とはオーダーが1桁低いスケールであり、squall line による gust front というものは、cold front と分けて考えるべきである。むしろ、gust front により synoptic scale の cold front が識別しがたくなったというほうが適切であろう。砂嵐が発生したのは、squall line 全域に渡っているわけではなく、それよりさらにスケール

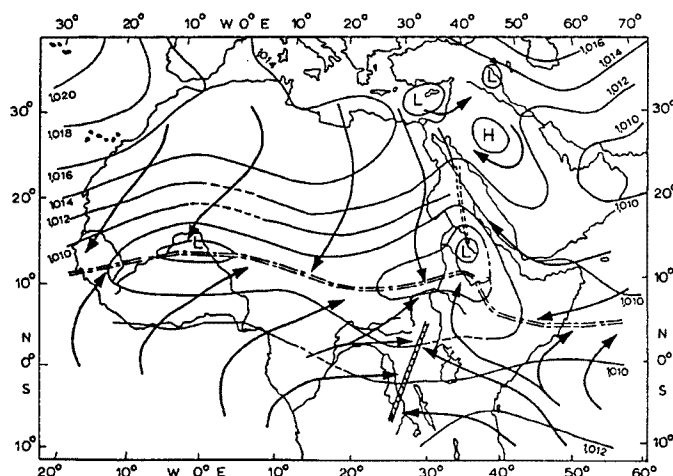


Fig. 13 Mean daily pressure pattern and air flow in April. (Adapted from Griffiths, 1972)

の小さい現象で強風がもたらされたと考えるべきで、異常に発達した積乱雲からの downdraft によるものだととらえられる。AWS のデータによれば、15m/s 以上の強風は数時間も続いているものの、一定の風速ではなく、数十分の単位で突風がある。10 分ごとのデータであるから、それより短い時間スケールの現象はとらえられないが、さらに微細な構造があることを示唆している。こういった、現象のスケールの階層性は大切な認識である。

また、中国での乾燥地帯での積乱雲からの downdraft による砂嵐は、それほど特異な現象ではないといえそうである。乾燥地帯といえども、積乱雲が発達することはあるのである。アフリカの砂漠地帯においても duststorm が発生するが、強風の原因には cold front の活動によるものがあり、中国でも、アフリカでも、cold front の活動が duststorm が発生する原因になることがある。したがって、砂嵐のような現象は、災害となって初めて認識されるものの、現象それ自体は、何も特別なことが起こっているわけではなく、いくつかの条件が重なってあるひとつの自然災害現象となっているのである。

### 参考文献

- 1) Nalivkin, D. V.: Hurricanes, Storms and Tornadoes. A. A. Balkema, 1983, pp.139-149
- 2) 光田 寧：大気—地表面相互作用に関する日中共同研究 (HEIFE). 天気, Vol. 35, 1988, pp.501-pp.505
- 3) Cotton, W. R. and R. A. Anthes.: Storm and Cloud Dynamics. Academic Press., 1989, pp.630-647
- 4) 佐橋謙, 吉田靖, 田中芳男：1991年6月27日に岡山県南部で発生した強風について. 天気, Vol. 40, 1993, pp.769-776
- 5) Linden, P. F. and J. E. Simpson.: Gravity-driven flows in a turbulent fluid. J. Fluid Mech. Vol. 172, 1986, pp.481-497.
- 6) Browning, K. A., J. C. Frankhauser, J. P. Chalon, P. J. Eccles, R. C. Strauch, F. H. Merrem, D. J. Musil, E. L. May and W. R. Sand: Structure of an Evolving Hailstorm, Part V, Mon. Wea. Rev., Vol. 104, 1976, pp.603-610
- 7) Mahoney III, W. P.: Gust Front Characteristics and the Kinematics Associated with Interacting Thunderstorm Outflows. Mon. Wea. Rev., Vol. 116, 1988, pp.1474-1491
- 8) Fujita, T. T.: Tornadoes and Downbursts in the Context of Generalized Planetary Scales. J. Atmos. Sci., Vol. 38, 1981, pp.1511-1534.
- 9) Hayashi, T.: Surface Observation of Thunderstorm at Desert. Proc. International Symp. HEIFE, 1993, pp.236-241
- 10) Griffiths: World Survey of Climatology, Vol. 10. Climates of Africa. Elsevier Publishing Company., 1972, pp.75-110