報告

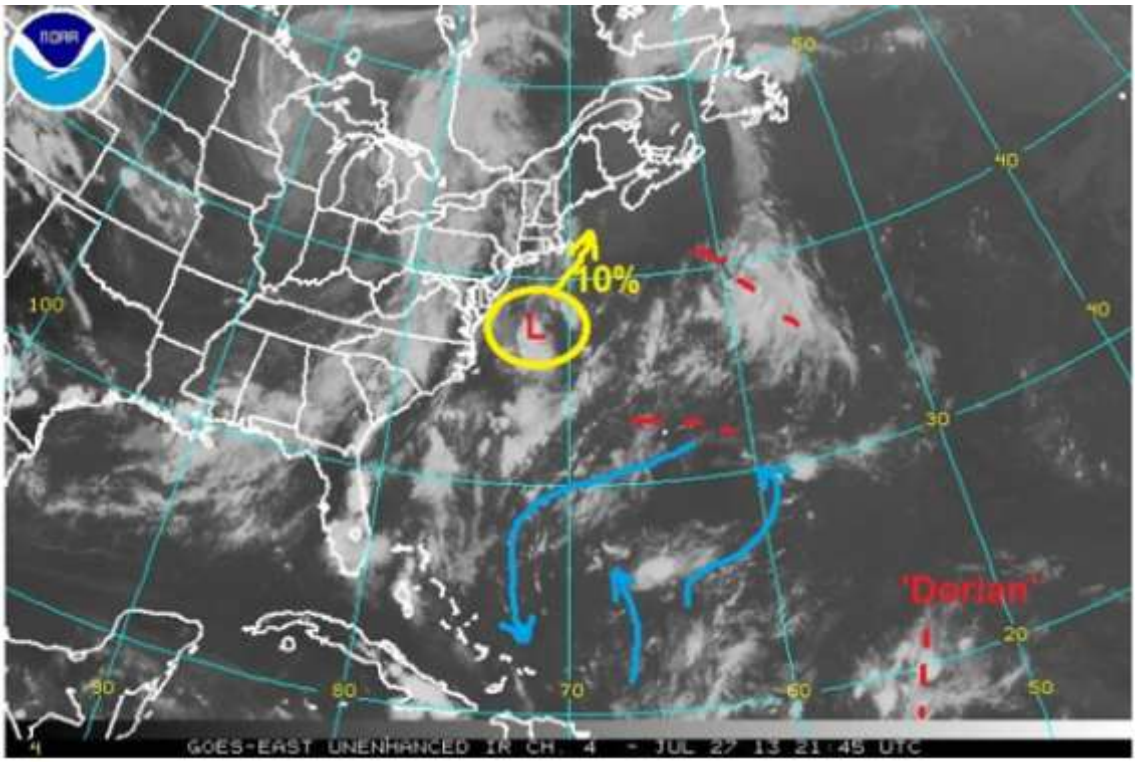
e 沙嵐の風力を増大させる要因	**e Factors Increasing Sand Dust Storm Wind Power**



目次	**Contents**
e.1 熱帯外上層の気圧の谷の侵入	e.1 Penetration of Extra-tropical Upper Level Troughs
e.2 東西の気圧勾配の増大	e.2 Increase in East–West Pressure Gradient
e.3 大気不安定による外部気象要因の影響	e.3 External Weather Factors From Atmospheric Instability
e.4 地球規模の大規模沙嵐への発達メカニズム	e.4 Development Mechanism into Global Scale Large Sand Dust Storms
e.5 ハブーブ（積乱雲に伴う沙嵐）	e.5 Haboob (Sand Dust Storms Associated with Cumulonimbus Clouds)

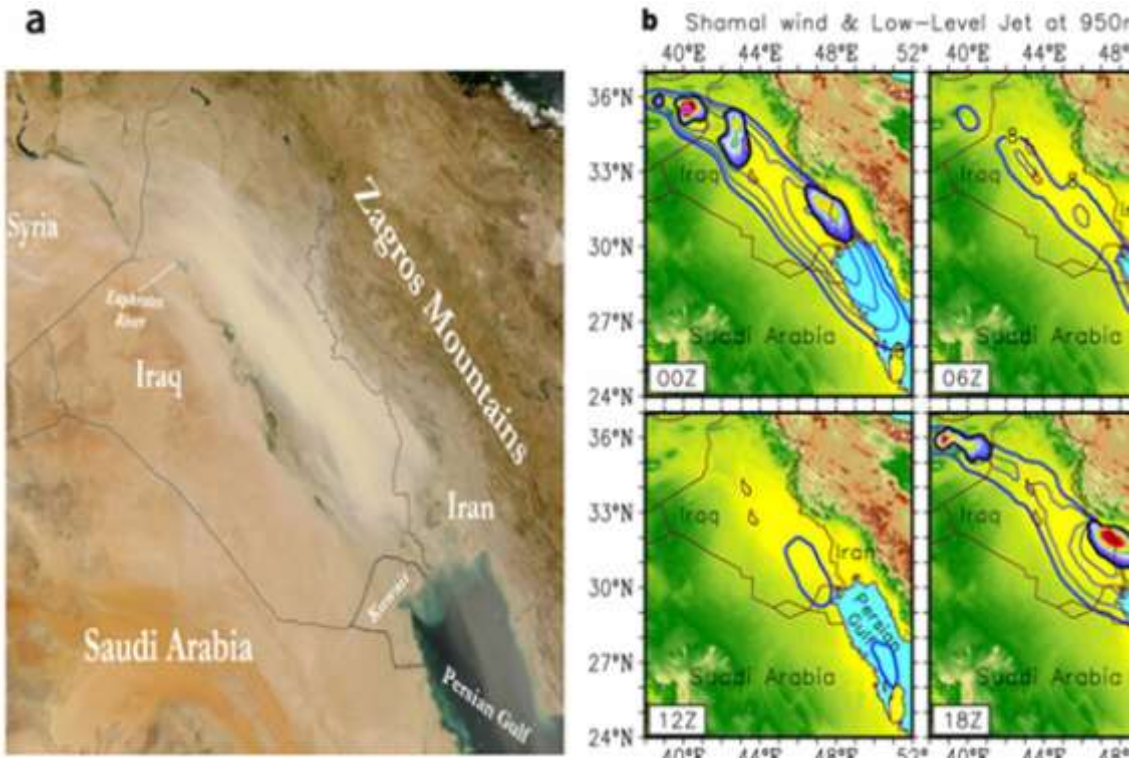
e.1 熱帯外上層の気圧の谷の侵入	**e.1 Penetration of Extra-tropical Upper Level Troughs**
激しい沙嵐は、冬から春にかけては総観スケール（広域）の前線システム、夏から秋にかけては対流システム（積乱雲などの降水セルの複合体）によって支配され、年間を通じて発生します。特に春には沙嵐の頻度がピークに達します。これは、地表付近	Severe sand dust storms occur throughout year, dominated by synoptic scale-driven front-line system in winter and spring and convection system, which means complex of precipitation cells, between summer and autumn. Frequency of sand dust storms

の寒冷前線と連動した熱帯外の上層階の気圧の谷（トラフ）が、定期的にアラビア半島（شبه الجزيرة العربية）へ侵入してくるためです	reaches peak especially in spring. This is because extra-tropical upper-level troughs associated with cold fronts near surface regularly penetrate into Arabian Peninsula (شبه الجزيرة العربية).



Tropical Upper-Tropospheric Trough (Sample only)　(July 27, 2013, BermudaWeather)

e.2 東西の気圧勾配の増大	e.2 Increase in East–West Pressure Gradient
シャマール（شمال）による沙嵐は、東西、つまりザグロス山脈（جبال زاگرس）とナジュド高原（هضبة نجد）の間の気圧勾配が大きくなると、半島中央部での発生頻度が高まり、その勢力も増大します。	Shamal (شمال) sand dust storms become more frequent and more powerful in central Arabian Peninsula when pressure gradient increases in east and west, specifically between Zagros Mountains (جبال زاگرس) and Najd Plateau (هضبة نجد).



Aerial view of the MODIS on NASA's Aqua satellite that shows a dust storm in Eastern corridor of Iraq

(August 08, 2005, Earth Observatory. Nasa)

e.3 大気不安定に伴う気象要因の影響	**e.3 External Weather Factors From Atmospheric Instability**
沙嵐は、大気の不安定性に起因する低気圧や気流など、さまざまな気象要因の影響を受けて勢力を増します。1 日の中での沙嵐の活動ピークは主に 2 つの異なる気象構造によって発生します。地表が激しい太陽熱で温められることで、乱気流と局所的な気圧勾配が発生する昼時間帯に日中のピークが発生します。また、日の出後に太陽熱による加熱が始まると、夜間に上空に形成されていた夜間低レベルジェットの強い運動量が、激しい乱流混合によって一気に下向きに輸送される朝時間帯に朝方のピークが発生します。	Sand dust storms gain power under influence of various meteorological factors such as depressions and air currents due to atmospheric instability. Diurnal activity peak of sand dust storms usually occurs through two different meteorological mechanisms. Daytime peak occurs during day when intense solar heat on ground creates turbulent air motion and local pressure gradients. Morning peak occurs after daily solar heat begins at sunrise, when high momentum from nocturnal low-level jet mixes downward rapidly due to intense turbulent mixing.

e.4 地球規模の大規模沙嵐への発達メカニズム	**e.4 Development Mechanism into Global Scale Large Sand Dust Storms**
前述の増幅された東西の気圧勾配によってシャマールが急増し、半島に最初の激しい沙嵐をもたらします。この北風の激しい沙嵐が、ルブア・ハーリー沙漠（الربع الخالي）南東部で南西モンスーン起源のソマリアジェット（التيار النفاث الصومالي）と合流すると、2 つの風が互いに作用して収束帯を形成します。	Amplified east-west pressure gradient described above causes shamal to surge and gives rise to first violent sand dust storm on Peninsula. When this northerly fierce sand dust storm is joined by Somali Jet (التيار النفاث الصومالي), which originates from southwest monsoon, in southeastern part of Rub' al Khali Desert (الربع الخالي), two winds interact with each other and form convergence zone
この収束プロセスにおいて、北風によって運ばれてきた多量の砂塵が停滞し、蓄積します。蓄積した砂塵は大気からの下向き長波放射を増加させるため、夜間であっても地表付近の気温が下がりにくくなります。この陸側の熱い大気が、アラビア海（بحر العرب）やオマーン湾（خليج عمان）から沙漠への湿った海上気団の流入を急増させます。	In this convergence process, a lot of dust carried by northerly wind stagnates and accumulates. Accumulated dust increases downward long-wave thermal radiation from atmosphere, which prevents surface temperatures from dropping even at night. This hot air mass on land side causes rapid influx of moist maritime air masses from Arabian Sea (بحر العرب) and Gulf of Oman (خليج عمان) into desert.
これにより、陸地の乾燥した熱い暖気塊と、海からの湿った比較的冷たい海上気団との間で強い傾圧性が生じます。収束帯では、この傾圧性によって上昇気流を伴う前線形成が促進され、強力な低気圧が発生します。このルブア・ハーリー沙漠南東部での低気圧の発達が、さらに激しい第二次的な沙嵐を引き起こします。	This process causes strong baroclinity between dry hot air mass of land and moist, relatively cold maritime air mass of sea. In convergence zone, this baroclinity promotes frontogenesis that causes updrafts, resulting in generation of powerful cyclones. Development of cyclone in southeastern Rub' al Khali Desert triggers second and more intense sand dust storm.
2018 年 7 月末に出現した大規模な沙嵐は、この第二次的な沙嵐の典型例です。砂塵を高度 5000 メートルまで巻き上げて運び、地球上の主要な砂塵発生源となる巨大	Large sand dust storm that emerged at end of July 2018 is typical example of this secondary violent sand dust storm. It soared and carried dust up to altitude of

な沙嵐を形成しました。また、海上気団の流入による水分の増加は低気圧をさらに発達させ、砂塵の放出と湿った大気の流入を加速させました。この急激な上昇気流の中で、豊富に存在する砂塵が雲凝結核として作用し、積乱雲を急発達させて局地的な豪雨をもたらしました。	5000 meters, creating huge sand dust storm that became major source of dust on Earth. In addition, increase in moisture from influx of maritime air masses further developed cyclone, accelerating dust release and influx of moist air clusters. Within rapid updraft of moist air clusters, abundant dust aerosols acted as cloud condensation nuclei, rapidly developing cumulonimbus clouds and causing localized heavy rainfall.
このように、シャマールとソマリアジェットの合流に加え、砂塵の長波放射による温度維持が、沙嵐を世界規模へと巨大化させる重要な要因として見直されています。 ソマリアジェットとは、南西モンスーンが赤道を越える際に北向きに曲げられ、さらに東アフリカの地形で東向きに偏向されて形成される、低空の非常に速いジェット気流です。5 月に東アフリカを通過し、6 月にアラビア海北部を横断してインドへと向かいます。	Thus, in addition to merger of shamal and Somali jet, temperature maintenance by long-wave radiation of dust is reviewed as crucial factor magnifying sand dust storms into global scale. Somali jet is low-level, very fast jet stream formed when southwest monsoon is deflected northward as it crosses equator and then deflected eastward by topographical features of East African mountains. It passes through East Africa in May and then crosses northern Arabian Sea before reaching India in June.



Summer Shamal pushed dense dust across Arabian peninsula to its south coast and out over Arabian Sea in late July/early August 2018 (by Dr. Hans-Peter Roesl)

e.5 ハブーブ（積乱雲に伴う沙嵐）	**e.5 Haboob (Sand Dust Storms Associated with Cumulonimbus Clouds)**
地形などの影響によって、上空に冷たい空気が、地表付近に暖かい空気が存在する大気が非常に不安定な状態になると、地上の暖かい空気が周囲の砂塵を巻き込みながら激しい上昇気流を起こし、積乱雲が形成されます。	When atmosphere becomes highly unstable with cold air aloft and warm air near surface due to terrain or regional reasons, warm air on ground creates intense updraft while gathering surrounding dust, forming cumulonimbus clouds
上昇した大気は上空で冷却され、含まれるわずかな水分が氷滴となって積乱雲を作ります。上昇気流が弱まり減衰期に入ると、重くなった氷滴が落下を始めます。しかし、下層にある沙漠の極めて乾燥した熱い空気によって氷滴は途中で融解し、蒸発するため、地上まで届かないことが多く、この現象は尾流雲と呼ばれます。この融解や蒸発の過程で、水分が周囲の空気から潜熱を奪うため、上空で強力な冷気の塊が生成されます。	Rising air is cooled in sky, so slight moisture contained in it becomes ice droplets, creating cumulonimbus clouds. When updraft weakens and enters decay phase, heavy ice droplets begin to fall. However, ice droplets melt and evaporate midway due to extremely dry, hot air of desert below, so they rarely reach ground, and this phenomenon is called virga. In this process of melting and evaporation, moisture draws latent heat from surrounding air, producing powerful cold air mass aloft.
この冷たい空気は周囲の暖かい空気よりも密度が高く重いため、一気に地上へと吹き降ろす激しい下降気流となります。これが地上に災害をもたらすほど極端に強まったものがダウンバーストです。	Since this cold air is denser and heavier than surrounding warm air, it becomes violent downdraft blowing down to ground at once. Extremely strong downdraft that causes disaster on ground is called downburst.
この冷たい下降気流が地上に衝突すると、水平方向に激しく吹き出し、地表に沿って重力流として周囲に広がります。この冷気流が周囲の乾燥した暖かい空気と衝突する最前線には、小規模な前線である突風前線	When cold downdraft hits ground, it blows horizontally and spreads around surface as gravity current, which means intrusion of high-density fluid. Small-scale front called gust front is formed at leading edge where

が形成されます。ここで発生する激しい上昇気流が、砂と砂塵の巨大な壁であるハブーブ（هبوب）を作り出します。	this cold outflow collides with surrounding dry, warm air. Severe updraft generated here creates huge wall of sand and dust, which is called haboob (هبوب).

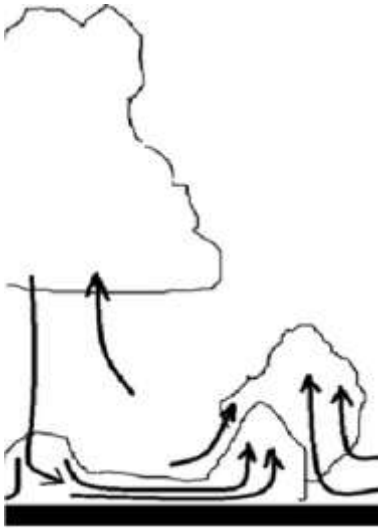


Illustration by Takahashi

なお、雲の発達や水分供給がさらに大規模になると、水分が蒸発しきれずに地上まで激しい雷雨として到達します。この場合も、雨によって冷却された冷気の流出によって強力な突風前線が生成され、同様に激しい沙嵐を引き起こします。	If cloud development and moisture supply become even larger in scale, moisture reaches ground as severe thunderstorm without evaporating completely. In this case, powerful gust front is also generated by outflow of rain-cooled air, triggering severe sand dust storm in same manner.



Haboobs are massive windstorms that carry desert sand in a large mass. (Phoenix Newtimes)