

## 第 3 回 1 限目

# 立山における越境大気汚染物質について

講師 富山工業高等専門学校  
物質化学工学科 教授  
鳥山 成一 氏

## 1. 大気汚染物質の飛来

2002 年に大規模な黄砂が飛来して、国が決めた大気環境基準（浮遊粒子状物質濃度）をオーバーした。黄砂は太古の昔から飛来しているのだが、最近、規模の非常に大きな黄砂が飛来している。富山県の 2002 年度の環境基準達成率は、浮遊粒子状物質に関しては黄砂の影響で 0% となった。

また、オキシダント（オゾン）にも環境基準があり、今回、調査を始めようとした 2007 年春に、富山県でオキシダント注意報が発令され、しかも、今まで、東京や大阪など都市部の工場・自動車等の影響でオキシダント注意報が発令されていたが、このときは長崎県の五島列島から順番に、東京や新潟までオキシダントが高く注意報が発令された。つまり、中国からの越境大気汚染が、特にオゾンが中国から飛来して、日本の各地でオキシダント注意報が発令されたと考えられる。オキシダントの環境基準は 60ppb で、注意報が発令されるのはその倍の 120ppb であり、つまり、“注意報の発令” は危ないということである。



## 2. 黄砂の飛来

黄砂は浮遊粒子状物質（粉じん）の範ちゅうに入り、10  $\mu\text{m}$  以上の大きな粒子は鼻の入り口で止まるが、2  $\mu\text{m}$  以下の小さな粒子は肺に入る。日本の環境基準では 10  $\mu\text{m}$  以下という規制を設けているが、2.5  $\mu\text{m}$  以下のもの（PM2.5）は肺壁に入るため、近く、新しい環境基準が設定される予定である。黄砂は粒子が粗いといわれていたが、調べると 10  $\mu\text{m}$  以下、5~6  $\mu\text{m}$  のものが圧倒的に多く、これがほとんど鼻に入り肺に入る可能性が高いと考

平成 21 年度 富山県大学連携協議会公開講座  
第 3 回 1 限「立山における越境大気汚染物質について」

えられる。今のところ、黄砂による人の健康には問題ないといわれているものの、環境省は 2002 年以來、黄砂調査を開始しており、富山県も参加している。2002 年に環境基準をオーバーしたときは、県内 25 カ所ですべてで短期評価環境基準値の  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  をオーバーし、北京と同等の  $550 \mu\text{g}/\text{m}^3$  という高い値もあった。

黄砂はゴビ砂漠や黄土高原、内モンゴルなどの砂漠から飛来し、それとともに大気汚染物質もやってくると考えられる。立山アルペンルートの雪の大谷の断面を見ると、しまになっているが、これは自動車の粉じんではなく、黄砂のせいと考えられている。

### 3. 黄砂の歴史

中国では黄砂という生やさしいものではなく、砂嵐なので、人災であり、紀元前 1150 年から被害があったという記述が歴史書に残っている。黄砂の発生には年代に波があり、中国の王朝が栄えたときに黄砂が非常に発生している。要は、国が豊かになると、安定した生活を求め、都市へみんな集まって家を建てたり、燃料として、木材の大量消費が発生する。そのため、木材をどんどん切って、はげ山になっていったとも言われている。黄砂は半分は人為的なものであり、今飛来している黄砂も、簡単に温暖化のせいだと片付けてはいけないと私は思う。

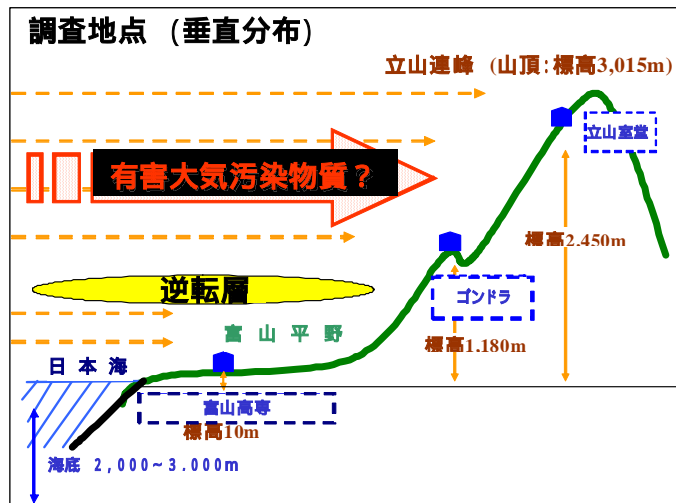
以前、中国黄土高原緑化視察団として蘭州へ行ったとき、中国は黄土高原緑化に非常に力を入れていた。驚くことに、飛行場から蘭州市までずっとはげ山が続いていたのだが、何百年か前にみんな木を切ってしまったのだと思う。その山に今度は切り込みを入れて植林し、黄河の水をまいていた。しかし、一度切ってしまうと、なかなか木は育たないと考えられる。蘭州周辺の農地は山の上まで黄土の畑（段々畑）になっていて、これが春になればどんどん舞い上がる。今まで放っておいたところを、開放政策で事実上個人所有となるため、みんな一生懸命に耕したものと考えられる。黄砂は砂漠ではない普通の黄土高原からも立つと考えられる。また、モンゴル辺りでは牧草地が減ったと言われている。例えば、モンゴルでは、開放政策前は家族で牧畜を 20 頭ほど養っていれば生活できたのが、開放政策後、働けば働くほど収入になるということで、200 頭や 300 頭養う。確かにその年はいいが、新芽が出たのを牧畜が来て全て食べれば、翌年、翌々年と草の生える面積が減ってしまう方向に進み、最悪の場合、砂漠化することが考えられる。原因が温暖化の可能性も確かにあるが、人為的な面も強いのではないかと考えられる。

2002 年の大規模な黄砂が飛来したため、県では Gondola と室堂で黄砂の調査を開始したが、これは、高層の黄砂を含む空気層が立山の室堂や Gondola に直接当たる根拠事例があるからである。富山の上空の空気層は逆転層 ( $100 \sim 200\text{m}$ ) と境界層 ( $500 \sim 800\text{m}$ ) があり、それより上空には富山平野の空気は行かないと考えられている。気象学的にも、温度が逆

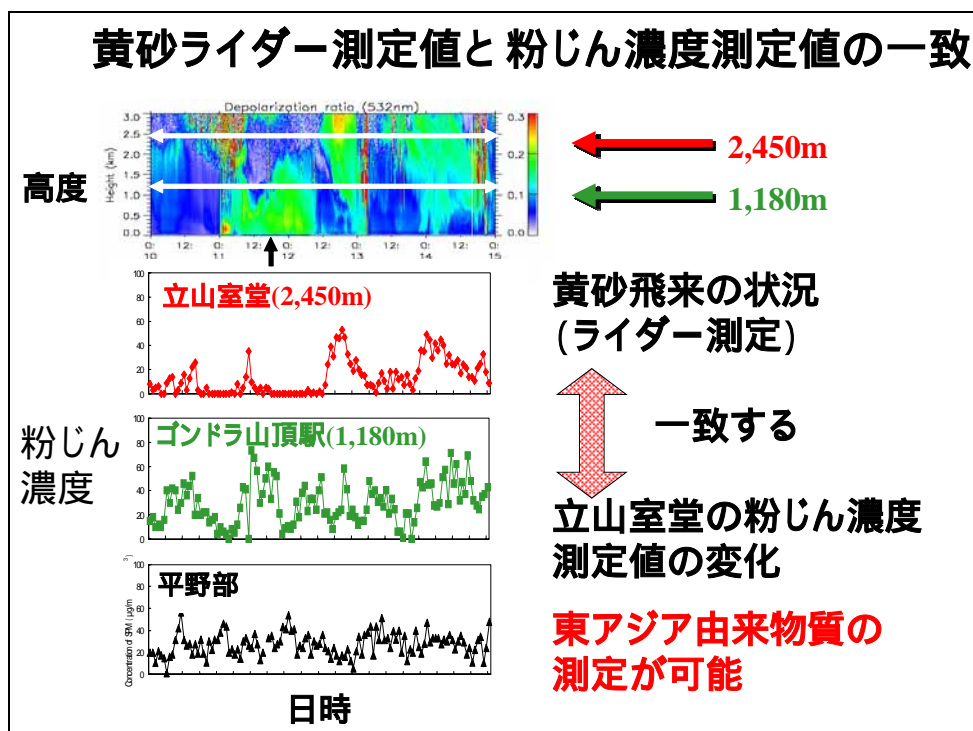
平成 21 年度 富山県大学連携協議会公開講座  
第 3 回 1 限「立山における越境大気汚染物質について」

転すると空気が抑えられ、上空へ上がらない。そのため、室堂などの高度の空気は、大陸から直接やって来ていると考えられる。

そこで県では、室堂ターミナルビル(2450m)に、環境基準を測る測定装置を入れて浮遊粉じんを測り、また、立山の酸性雨観測局をらいちょうバレースキー場の山頂(1180m)へ移設し、酸性雨と黄砂を測定している。更に、越境大気汚染の黄砂を測るためにライダー(レーザーレーダー)という装置を環境省が富山県環境科学センターの屋上に設置した。



このライダーは大学等の研究用ではなく、国立環境研究所が黄砂監視用に開発した測定装置で、現在 5 台ほどあり、1 年中 24 時間休みなく測定している。これはレーザー光を黄砂層に当て、返ってくる速さを測ることによって黄砂の高さ(高度)が分かるという非常に便利な装置である。この装置は、その粒子が丸い(大気汚染物質の粒子)か、角張っている(岩石、黄砂粒子)かも見分けられる。その結果、ライダーの写真(画像)と、立山室堂やゴンドラスキー場の浮遊粒子状物質の測定装置のデータが非常によく一致していた。ヘリコプターや飛行機を飛ばさなくても、その 2 カ所で測定すれば上空の空気層が十分に測れ、上空に飛来する東アジアの汚染物質も測ることができるのではないかと考えられる。



#### 4. 中国からのオキシダント飛来

大気環境学会誌の大原さんのデータを使わせていただくと、2007 年 5 月 8 日の 9 時には北九州の一部でオキシダント注意報が発令しており、その日の 15 時には、九州や中国地方は全て注意報が発令し、富山は、注意報は発令されていないがオキシダント濃度が高い。（この時点で、まさかそのオキシダントが中国から飛来しているとは誰も考えていないと思われる。）そして、次の 5 月 9 日の夜にはオキシダント濃度が少し下がるが、まだ残っている。オゾン、NOx などの大気汚染物質に紫外線が当たって生成するのであり、夜間は一般に生成しない。しかしながら、夜間、富山市でも 100 を超えている。5 月 9 日の 3 時には、西日本ではほとんどオキシダント注意報が発令され、新潟で初めて注意報が発令された。光の当たらない夜でも出て、しかも次の日にまだ残っているということで大問題になったのだ。でも、これもあまり新聞報道されていない。一般にオゾンは分解しやすく、生成しやすいと言われているが、夜の 9 時でも高い濃度で存在するという事は、ガスの塊のまま中国から富山県に飛んでくる可能性が非常に強いわけである。科学の一般常識と事実はかなり違っていた。

そこで私は、立山でオゾンを測ってみればどうか、正確には、オゾン生成の前駆物質である VOC S (揮発性有機化合物) を測定すればよいのではないかと考えた。大原さんのシミュレーションによれば、9 日の富山県はオゾンが非常に高濃度になったこととよく一致していた。もちろん、夜間は紫外線が当たらないのでガスの塊の中でオゾンが発生しにくくなるが、オゾンや VOC S 等の大気汚染物質が残っており、太陽が出て光合成が行われ、どんどんオゾンが増殖していく。夜間は少し薄くなるが、日中また濃くなるパターンの繰返しになると考えられる。中国が原因と見られるオゾンが 8 日に日本列島全体を覆っているが、そのときの日本は、東京や大阪からは少し発生しているが、富山県は全然出ていない。富山県は、北陸電力が定期修理中で止まっており、例え発電していてもそんなに大気汚染は大きくない。もっとも、100% 中国が原因ということではなく、日本の影響もあるが、非常に大きい部分は中国の大気汚染である。中国の中でも、北の方の発生源と南の方の発生源があり、今回は南の方の発生源が支配的であると考えられている。また、韓国の発生源も意外に影響している。だから、全部が全部中国ではないのだが、かなりの部分、東アジアの影響を強く受けたということである。

また、国内だけの事例もある。2004 年に、富山県で光化学オキシダント注意報が発令され、しかも県内ほとんどで基準値をオーバーした。それは 12 時から注意報が発令され、夜の 7 時や 8 時になっても値は高かったが、夜は光合成がないだろうということで注意報は解除された。人の目視では、オキシダントが高いときは、黄砂が来たときと同じで、立山が見えない。これがどこから来ていたかをライダーや後方流跡線解析で調べてみると、関

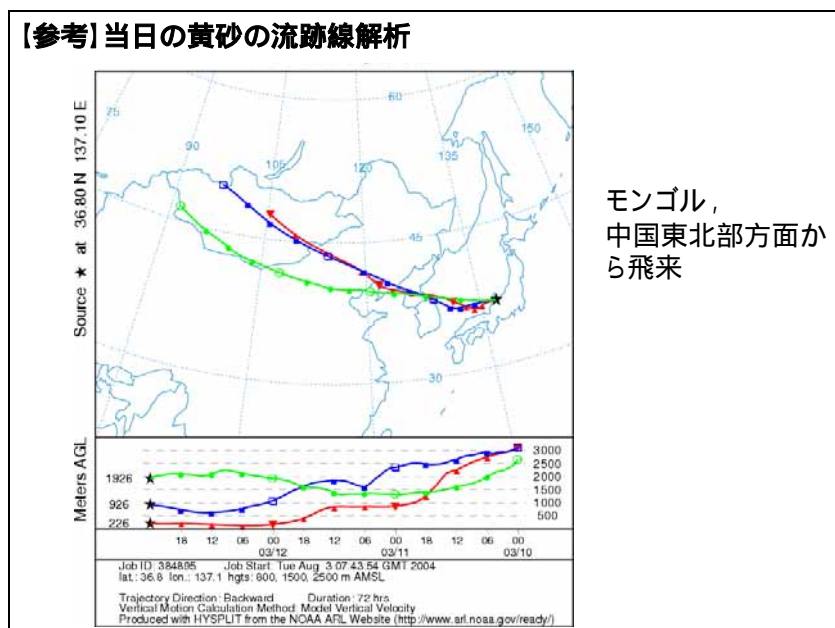
平成 21 年度 富山県大学連携協議会公開講座  
第 3 回 1 限「立山における越境大気汚染物質について」

東からだった。実はその前日から関東で注意報が発令されていて、西日本へも広がってきたのだ。そこで地上のオキシダントのデータを見ると、夜は下がっていた。それは、逆転層が出来て、富山平野の上空に鍋蓋を閉じたようになったためである。NO<sub>x</sub> はオキシダントをつくる物質だが、夜間は太陽が当たらないので逆にオゾンを食べってしまう。また、室堂には測定装置がなかったのだが、たまたま、この日は黄砂調査でバスに測定装置を積んでおり、富山平野、 Gondola (1000m)、室堂(2450m)の 3 高度でオキシダントを測定していた。富山平野と Gondola はずっと一定で高いが、室堂は意外と低い。つまり、オキシダントの塊は 1000m くらいまでは来ているが、2450m の方には来ていないということであった。このように高度別のオキシダントの大気汚染の影響がはっきり解明された。そういう意味でオキシダントの発生源を考えることは、非常に大事だと思う。

もう一つの事例は、2004 年 3 月 28 日の北日本新聞に、『何だろう 黄色の帯』という記事が出たが、富山气象台によると、「正体は分からない」ということだった。原因は、日中、逆転層に黄砂による黄色い帯ができたため、1 週間後の 4 月 3 日に、『その正体は黄砂が逆転層で滞留しているものだ』という私の説明が記事として出た。通常気温分布は、上空は寒くて温度が低く、地上は暖かいが、500m から下くらいになると境界層があって、日中は空気が上昇し境界層内で対流し混合がある。しかし、朝方、逆転層(100~200m)ができると、そこが帯のようになりシャットダウンされる。これは夜間から朝方に起こりやすく、放射冷却となり、地上 12 度に対して上空は 17 度というように温度が逆転し、上空に鍋蓋を閉じたようになって、下の気流が上に上がらなくなる現象である。しかしながら、この黄色い帯ができたのは昼の 12 時であり、普通は 12 時にはできないのだが、このとき逆転層ができていたと推測された。逆転層ができたため、上空に黄砂が来ていれば、少し自然沈降するが、逆転層で上空と対流が起きないため、下へは降下できなくなり、そこに留まって黄色い帯になったと考えられる。この推測は、Gondola スキー場にある県の観測局の温度計で証明された。普段の気温分布は、平野の温度が高くて、山の上が低い、逆転層ができると、朝方、Gondola 山頂の方が高くなる。その日は 12 時でもまだ Gondola の方が、温度が高かったのである。富山平野の方は温度が同じくらいか、低い。つまり、逆転がそのまま維持されているわけである。

ライダーで見ると、黄砂が来ていた。上空の方に来ていて、平野部の下の方には来ていなかった。山頂の浮遊粒子状物質の自動測定器で見ると、粉じん、黄砂が来ていることが明確であった。また、流跡線解析を用いてそれがどこから来たかということ、季節外れなのだが内モンゴルからだった。それと、立山、室堂を測った浮遊粒子状物質の実測値と、小杉であげたライダーの画像の粉じん層の 1100m、2400m の空気がほぼ一緒だということが証明された。そこで、私は、立山で測定することによって 1100m、2400m 上空の東アジアの大

気汚染が分かるのではないかと考えた。



## 5. 越境大気汚染物質について

中国からオキシダントが飛来した事件が、立山での調査のきっかけであるが、私が一番強調したいのは、中国から来たものによって、日本国内の工場が規制されたということである。大問題のはずなのに、企業は黙っている。自分のところも少しは煙を出しているからだと思うのだが、本当はもっと強く言ってもいいと思う。それから、ガス状物質が、一般の大気を測る常時観測装置で測れたと言う事実である。科学ではガスはすぐに分解するというのが常識なのだが、そうではなくて上海辺りから濃いガスの塊が飛んでくるということである。

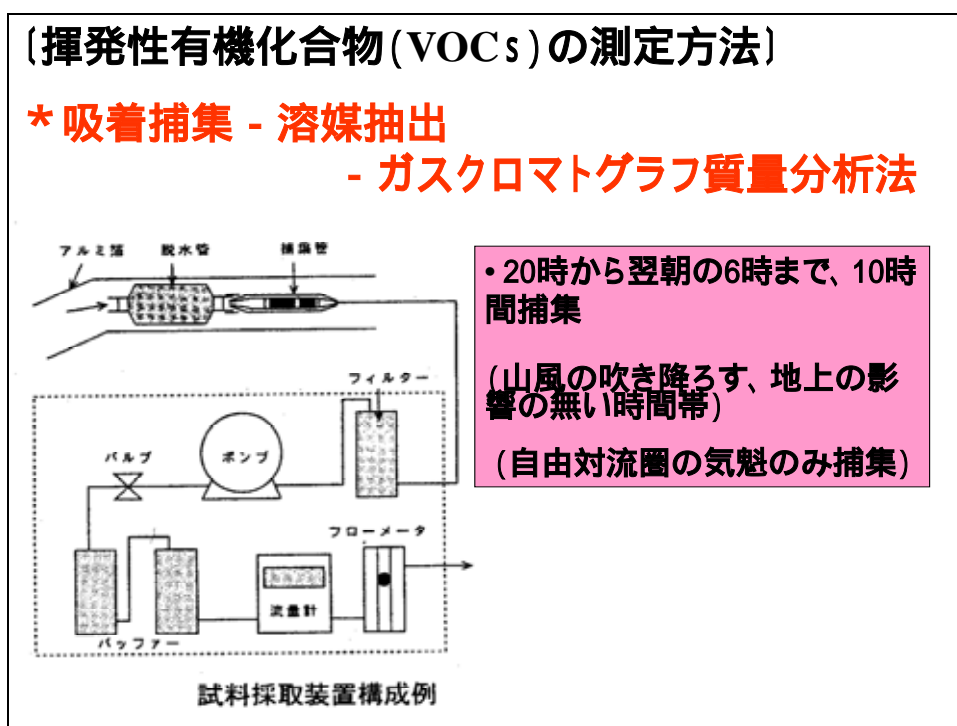
オキシダントという物質は窒素酸化物が原因で生成するのだが、実は手助けする物質(前駆物質)の VOCs (揮発性有機化合物) が非常に関与していることが分かってきた。VOCs の中で、トルエンやキシレンといった塗料の溶剤は人体に直接害がないものだから、法律で全然規制されていない。ところが、VOCs がこのオキシダントをつくるのに非常に関係するということが分かったので、慌てて環境省では 4~5 年前から規制しだした。年間、トルエンやキシレンが日本の空へ蒸発している量は、自動車で大騒ぎしている NOx とほとんど同じである。VOCs はほかにいろいろな物質があるのでもっと出ていて、ものすごく大きな量の VOCs が上空にあってオキシダントができたのではないかとわれている。

光化学反応によって NOx に紫外線が当たって活性酸素になり、オゾンができる。こういうもの全体をオキシダントとっているのだが、実際はオゾンであり、大量に発生する。これは従来の光化学の原因だった。ところが、炭化水素、VOCs があると、1 サイクルの間に二つの NOx 分子をつくってしまう、つまり、結果的にオゾンも 2 倍生成することになる。

平成 21 年度 富山県大学連携協議会公開講座  
第 3 回 1 限「立山における越境大気汚染物質について」

VOCs は非常に NOx 増殖効果が高いが、人体に影響がないので規制されていなかったのだ。

それで、VOCs に着目した。立山室堂は 2450m で、自由対流圏といって地上の影響を受けないところである。富山県で唯一の地の利を生かして、VOCs を測ってみれば面白いのではないかということでスタートしたのだ。2007 年の 9 月にスタートし、10 月までに十数回、2008 年は 5 月から 10 月末まで、自然保護センターを借りて、タイマー付きの測定器を 3 台ずつゴンドラと立山に置き、1 日おきにサンプルを取り、立山は 70 回、ゴンドラは 56 回測定した。測定は環境省『有害大気汚染物質測定方法マニュアル』という公式方法に準拠している。捕集時間は夜の 20 時から翌朝の 6 時までの 10 時間である。これは、夜は山風が吹き、地上の影響のない時間帯だからだ。



VOCs のどのような物質が飛来しているかを見るため、ガスクロマトグラフ - 質量分析装置 (GC MS) に VOCs 20 物質設定してある。2007 年は 12 回のうち 5 回で数値が出て、立山室堂にはベンゼンとトルエンがあった。ゴンドラにはベンゼンとトルエンとエチルベンゼンがあった。どこから来たかを高層の気温・気圧を使った後方流跡線解析で調べてみると、東アジア方面で大気境界層との混合が予測される事例、国内工業地域と経由地から予測される東アジア由来も考えられる事例、それから、国内の工業地域のみのもあった。

2008 年は 5 月から大変頑張ったのだが、5 月はほとんど数値が検出されず、6 月、7 月、8 月に少し検出された。立山室堂に -ピネンや -ピネンが出た。これは針葉樹などが出す自然界の VOCs である。立山にも森があるが、東アジア・韓国の方から来ている日もあるのではとわからない。

平成 21 年度 富山県大学連携協議会公開講座  
第 3 回 1 限「立山における越境大気汚染物質について」

9 月、10 月になると、立山室堂は去年と違ってメチルイソブチルケトンがたくさん出ている。だから、特定の発生源が何かあるのではないかと思っている。スチレンやキシレンの値も非常に高い。ゴンドラの方も室堂とよく似ていて、 $\alpha$ -ピネンや  $\beta$ -ピネンが 8 月の初めぐらいまで出ている。ヘプタン、エチルベンゼン、キシレンもあり、9 月になっても  $\beta$ -ピネンがちょっと出ている。それから、場所が違うのにメチルイソブチルケトンが秋に出ている。それと、私も分からないのだが、1,2,3 トリメチルベンゼンが結構高い濃度でゴンドラだけで出ている。

どこから来たか。東アジアからだと思われる日もあるが、国内と東アジアのものが重なっているので何ともいえない。夏場は国内のみということが結構ある。関西や中京方面、たまに関東からも来る。実は三宅島が噴火したとき、ゴンドラの酸性雨の数値が高くなった。富山も影響を受けたのである。

あと、都市部と比較したものがある。都市から見れば、出てきたといっても非常に小さな値なので気にすることはないのだが、一応、どこかと比較しなければいけないと思ったからだ。意外と VOCs のデータは測っておらず、測っていてもせいぜい都市部だ。

結論は、VOCs の発生源ははっきり分からないが、立山室堂、ゴンドラのいずれでも、日本国内ばかりでなく、東アジアということも考えられる現象が見られたということである。