

## 大気汚染に関するシンポジウム (その1)

時 : 1957年5月26日

場 所 : 名古屋大学工学部

## 伊東 彊 自 (気象研究所)

ただ今から大気汚染に関するシンポジウムを行います。大気汚染の問題は最近非常に問題が広くなりまして、都市のバイ煙という古くからの問題の上に人工放射能の汚染という新しい問題が入ってきたため、全般として問題を考えることが困難な状態でございます。話題提供の範囲も非常に広範になっております。それでは菅原先生お願いします。

## 菅原 健 (名古屋大学)

大気汚染の化学としてまず気付きますことは汚染という言葉の意味のあいまいさであります。

基本のものがあってそれに外からものが加ってある度を越すと害になる。この害になる度まで加った時に汚染という言葉が使われるのではないかと思います。この害になる点が必ずしもはっきりしたものでないところから、害を起すものに起しそうに思えるものが加わり、これを一般に汚染ということもあるようであります。するとその基本になるものと外物として考えられるものの区別も判然としない場合がでて参るようであります。

大気の正常なつまり基本の成分とは何々であろうか。これからして問題になることと思います。酸素、窒素、アルゴン、炭酸ガス、アンモニア、それに少量の水蒸気が大気の正常成分であって、その中に浮遊する塵粒は外物であると考えべきでありましょうか。しかし少量の塵粒の存在はむしろわれわれの生活を保障した常在する点で基本成分に数えるべきで汚染物質とはいえないのはでないかとの議論もでてこないわけではありません。一面炭酸ガスは空気の常在成分でありながら、例えば映画館の空気中の炭酸ガスを計って増していると炭酸ガスで空気が汚染されているといった表現が用いられます。

とにかくこんなことで汚染という言葉が甚だあいまいに用いられていることは事実であります。

放射物質の汚染についても同様であります。四六時中宇宙線の通過によって大気中に  $H^3$  や  $C^{14}$  や  $Bc^7$  ができてくる。大地からはラドンやトロンが放出されそれによってまた放射壊変物が生成し大気は放射性を獲得し雨はそれを捕えて放射性を帯びる。これらも汚染物質といえるか。それに原水爆や原子炉からの放射性の物質が加

わった場合、この分だけを汚染というのか。

かようにして汚染という言葉のあいまいさは自然放射能に加わる人工放射能の害の問題の正しい理解を妨げる点さえあるのではないと思われま。

今日  $Sr^{90}$  の害がやかましく論ぜられていますがその理由として身体に入ったら出にくいということがあげられます。しかしそれと身体を直きに通過してう自然の放射性カリウムとどこにちがいがありませんか。入ったカリウムは体内に入っては直きに出ますがそれは毎日供給され毎日で行くのであって結局体内には絶えず放射性カリウムの一定量が止まっているという点では  $Sr^{90}$  と変りがないわけでありま。

問題はむしろ  $Sr^{90}$  が特定の組織に集中してそこで放射能を大きくするという点にあるわけでありま。  $Sr^{90}$  が入りこまないでも自然の放射性物質や宇宙線のはたらきでわれわれの体は毎秒50万発からの放射線で貫かれていますのであります。そこで人工の放射性物質の影響というのは、それが特定の場所に集積するものならば、その場所でここにのべた自然放射線に対してどれだけの放射線濃度を増すことになるか、ということが真の問題になるわけでありま。

さてここでまず一応大気の正常成分であるとされる炭酸ガスの量が将来増加して行く場合どんな影響をもたらすであろうかを考えて見ることにしたいと思います。すなわち将来の炭酸ガス汚染の問題についてちょっと御紹介したいと存じます。

一昨年ジュネーブで原子力の平和利用の会議が開かれたときに次のようなスローガンが掲げられました。

将来工業力の発展に伴って燃料の使用量がふえる。燃料資源の枯渇もさることながら大気中の炭酸ガスの増加がわれわれの生活環境に重大な影響をもたらすのでないか。その点から考えて炭素燃料に代わるものとして原子燃料への切替が強調された次第であります。

だがそうしたところで炭素燃料を全く原子燃料に置きかえることはできない。

ある学者は2000年と2010年の間の10年間に大気中の炭酸ガスは今日の20%を増すと推定しております。今日の値を1万分の3とすると1万分の3.6になる勘定であり

ますが現在から2000年まで漸次に燃料使用量の増加を見込まねばならぬとすれば2010年の値は1万分の3.6より余程大きな値になると見ねばなりません。

そこでこの炭酸ガス増加は将来の大気汚染の重大問題になると考えなくてはならない。そういうことからすでに1952年以来ストックホルムの Rossby 教授、それからヘルシンキの Buch 教授の提案で世界中で今後大気中の炭酸ガスの精密な同時測定をまた同一測定場所で時間的変化の測定をしようという案が採択されました。ことに海洋については空気中の炭酸ガスがふえればその一部が海に溶解する。現に海の中から炭酸ガスが大気の方に移っているというところもあり、反対に大気から炭酸ガスが海に吸収されると考えられる場所もあります。ただしこれもまだ正確には調べられてはおりません。そこで先頃東京で開かれた地球観測年西太平洋地域会議ではこの線に沿って日本でも測定を行い世界の知識に貢献しようという申し合せになり、私どもも唯今多少のお手伝いのために努力している次第であります。こんなことで炭酸ガスの問題は一つの大気汚染の将来にわたる重要な問題であるということになるわけです。

時間がないのでバラバラにトピックをあげますが、次に汚染の問題としてあげたいのは従来から論議されてきた工場排塵排気のそれで、燃焼による硫酸とか亜硫酸の放出といったものであります。これについては、近頃関西地方において大規模の調査および対策の計画が開始されたことをきいております。石灰工場からの放出で石灰粉がバラまかれ付近の果樹に大害を及ぼし補償問題を起こした例も少なくありません。また鉱山等においても排気ガスの問題がいろいろあるわけです。

一方皆様御承知のようにロンドンの霧、ロスアンゼルスの smog の問題があります。

smog の問題は将来日本でも、もっともっと重要なものになってくるのではないかと思います。実は私がロスアンゼルスの smog を身をもって経験したのは昨年ちょうど Pasadena におりました時でした。よい天気の後急に目が痛くなりましてシヨボシヨボしてきました。聞いてみるとこれが smog によるのだとのことでした。Pasadena はロスアンゼルスの郊外であります。その後 La Jolla というところにおりましたとき、空がわかにか一方から暗くなり太陽の光も薄くなるような状況でした。

ある教授にこれはどうしたことかと尋ねますと、多分ロスアンゼルスの smog がこちらへ流れてきたんだらうとのことでした。それであんなに太陽の光をさげざる程のひどい smog が起こるものだとことを知ったのであります。実はあとで調べてみたらそれはロスアンゼルスの Smog のためではなしにちょうど山火事が起こり、この灰が流れ出したのであります。なる程みていると手のひらの上に白い粉が落ちてきました。とにかく

これから光があればひどく遮ぎられる程 smog が起こることのあることを知ったわけです。ロスアンゼルスの smog はこんなひどいものでありますが、それについてロスアンゼルスでは、初めはこれが石油の精油工場からの硫黄分に原因するとして硫黄分回収の設備を確か1947年だと思いますが整えさせたのであります。その結果、smog は大分減ったようであったというのであります。その後またまたふえてきました。ところが今から7年ばかり前、研究の結果原因の1つはオゾンであり、その第2はガソリンの排気ガスで、燃焼せずにすてられるガソリンであることがわかりました。それからロスアンゼルス付近では家庭の塵埃のうちで空きビン、空カンの類は清掃人がもって行くが少しぬれたもの、たとえば果物の食べがらとかボール箱とかいうものは各自の家で焼却する習慣になっています。そのために夕方になると方方の家の裏庭等でこれを焼きすてるのであります。この燃焼による煙が棚引いて日によっては飛行機からもよくわかる程だといひます。この燃焼産物の中に窒素の酸化物の類が相当入ってくる。これがガソリンの不完全燃焼物、それに全然燃焼しないガソリンの排気ガス、それからオゾン、これらのものが smog 発生的重要因子になるという結論になったのであります。さてそこでどれほどのガソリンを燃やさないで捨てているかという大変な数字になります。一日にロスアンゼルスの付近で燃焼せずに自動車の排気として出るガソリンが40万ガロンでリットルに直すと、150万リットル、立方メートルにすれば1500m<sup>3</sup>になるといひます。これだけのものが毎日空気中に放置されている状態です。これに加えて smog 発生を促すものはロスアンゼルス付近の気象条件で空気が停滞する条件があることであります。以上にもとづいてロスアンゼルスでは連続的に空気中のオゾンの測定をすることにして空気中のオゾンがある程度以上になると警報を出すことになりました。これには第1警報、第2警報、第3警報があります。規則が出来たのは1955年の6月であって、1956年の1月までの間には15回警報を出しておりますが、まだ第2警報の発令に及んだことはないとのことであります。第1警報というのは大気中のオゾン量が10万分の0.5に達すると出ます。これによって一般の塵埃の焼却を止めさせ、沢山汚染物質を出す工場には作業中止の準備態勢を命ずるのであります。また一般には不必要な自動車の運転を遠慮させるのであります。第2警報はオゾンが10万分の1に達したときに、このときは自動車の運転は必要欠くべからざるものに止め、それから準備した工場に対してストップを命ずる。第3警報というのは1.5になったら出されこれでは非常体制に入ります。このときは病院とか万やむをえぬところだけ燃やすことを許してあとはみんな止めてしまうということでもあります。実際においては上に述べた期間ではオゾン含量が10万分の0.9になったのが

最大でそれは1954年の9月でした。10日間ほど smog がつづいたあとの火曜日で **Black Tuesday** といわれています。smog の問題は対岸の火事でなくすでに日本にも起ってきているので将来重要な問題になると存じます。

大気中に外から加わる物質にいわゆる大気塩分があります。外のものが加わるという点で害はなくとも広義の汚染物質と見られます。これらの塩分は細かい粒になってエアロゾルをなすのでありますが、それが核になって霧を作り雨雪をふらすものになります。この塩分の源としては地表から舞い上る塵埃、火山の噴煙、工場の排気などととも最も重要な源として海塩があります。

Na, K, Ca, Mg, Sr, Cl,  $\text{SO}_4$ , F, I, B,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , Cu, Zn, V 等が定量されております。塩分の主要部分が海の飛沫として供給されることは海岸から距るにつれ高度を増すにつれて濃度が減少することで明かですが、またその成分の相対比率がそれに伴って変わって参ります。これにはいろいろな原因が考えられますが、その中で一番大切なのは海塩成分が各種の塩に分離した際に、安定度に差があって、早く落下しあるいは早く雨にとり込まれて、大気から容易に除かれるものと、比較的安定であとに残るものがあります。そのため安定成分が相当濃度を増して奥地に余計送り込まれることになるのであります。沃素という元素は甲状腺を通して人類の生活に大事な役をしますが、海から距った大陸の内部等では、沃素の供給が不十分のために、甲状腺肥大症等の病気を起すことが多く、わざわざ水道に沃素化合物を入れたり、食用塩にそれを加えたりしてありますが、日本ではこの病気が少ないが、その理由として、沃素を濃縮した褐藻類を多く食用に供するからだといわれていますが、反面島国であるためにエアロゾルとしての沃素の供給が大きく、これが雨で地上にもたらされて蔬菜類に吸収されるという点で、十分に補給されるということが考えられます。実際雨の中の沃素含有量を調べて見ると、塩素に対して海水中の1000倍近くも濃縮しているのであります。

雨のもたらす窒素化合物が土地の肥沃度を保つに重要な役を果していることは古くから知れていることであり、こうして見ると広い意味の大気の汚染物質の中には、われわれに害を与えるどころか、恩恵を施してくれるものもあることが分るわけでありました。

一方東京の雨を調べると、他の元素に比べて  $\text{SO}_4$  の含有量が大きく、明かにこれは工場排気の影響と見られます。バナジウムという元素など、当初雨の中に計れる程は入ってまいと想像されたのでありますが、名古屋の雨や雪に意外に多く含まれていることが判りました。金沢の雨や雪に比較すると他の成分については金沢と名古屋との間には、大きな差がないのに、バナジウムの量は金沢に比べて名古屋は格段に多いのであります。こ

れでこのバナジウムの主たる給源が、工場からの煙塵にあることが示されます。工場の活動の影響の少ない、乗鞍岳の鈴蘭小屋で採った雪では、その含量が最も少ないのであります。

今後分析法が進んで、微量の各種の元素の定量ができるようになると、まだまだいろいろの元素の存在が明らかになり、将来重要な問題を提供することになることと思われま。

時間もないので最後に唯今問題になっている水爆、原爆、原子発電に関係した人工放射性物質による大気汚染の問題の中で、原子発電に伴う排気中の放射性物質について一二お話ししたいと思います。関係の深い方々はすでに十分御了知のことと思いますが、ある学者は1975年における原子発電力を推定して、 $10^8 \sim 10^9$  キロワット、2000年においては  $10^9 \sim 10^{10}$  に達するものとしております。問題はこの発電に伴う廃棄物の処理であります。固体の廃棄物については多くの人の注意が向いていますが、気体の廃棄物の中に半減期10年の  $\text{Kr}^{85}$  と半減期8日の  $\text{I}^{131}$  があります。 $\text{I}^{131}$  の方は半減期も短かいし、その化学的性質から見て捕捉の方法も考えられないではないが、 $\text{Kr}^{85}$  の方は不活性気体の一つで、そのまま大気中に逸散します。これが対流圏に一樣に分布するとして、海面上の放射能は  $10^{-8}$  キュリー/ $\text{m}^3$  ほどになる。ところで原子力発電が主として北半球の中間緯度に当る、文明国地域で行われるであろうことを考慮にいと、この地域の濃度は上の算定値の3~5倍に上るであろうといわれます。

ところで次の問題はこの  $\text{Kr}^{85}$  の最大許容量であります。これがまだはっきりしていません。しかし  $\text{Kr}^{85}$  に似ているラジオキセノンの最大許容量から考えると  $\text{Kr}^{85}$  による汚染度は、最大許容量より2桁低い値になるといわれます。ただし汚染の局部的濃化を考えると決して安心はできません。

たとえば上に述べた  $\text{Kr}^{85}$  が世界で100カ所位の原子力発電の中心から供給されるものとする、1カ所当りの放出量は平均全体の1%になります。そこでそうした放出現所から10哩から100哩の地域、特に風下になる地域の汚染度は、相当に高くなるものと考えねばならないわけでありましょう。

無論これらの問題については、現に直接原子力発電の計画にあたっている専門家が充分考慮している筈で素人がひどく騒ぎたてることはないことも知れませんが、

最後にいささか軌道を外れるようではありますが、将来は天然の放射性物質である、ラドンやトロンおよびその崩壊生成物、あるいは宇宙線によって生ずる  $\text{C}^{14}$ ,  $\text{H}^3$ ,  $\text{Be}^7$  というようなものの分布を、詳細に追究することにより、あるいはまた害の少ない放射性物質を逆に空気中に播いて、いろいろな気象現象の微妙な研究を行えるようになるのであらうとも考えられます。後の種類の物質

の例としては  $H^3$  があり、これは研究によって水素ガスとして用い、あるいはメタンガスに変化させ、または水の形で使用する等のことも考えられます。これはある意味で汚染現象を利用して気象学を発達させ、結局一般汚染の除去の対策に導く見通しもあるわけで、毒を以て毒を制し、禍を転じて福とする途にもなるかと思えます。

**内海徳太郎** 異常物が付加すれば、それが汚染となるということですか。

**菅原** 汚染という言葉があいまいで、まあこんなことも汚染とっているようだということを、いろいろあげて見ました。科学用語の中には外にも、あいまいな言葉があるようですね。

**内海** ある一定の濃度がふえた場合に、汚染ということも考えられるのではないのでしょうか。

**菅原** たとえば炭酸ガスが余計に加わったということも汚染といいます。これはほかの違ったものが加わったわけではなく、結局人間に対して直接間接害をおよぼすということからくる言葉のように思えます。しよせんこれは、はっきりと定義しにくいものではないかと思えますが。

**石井千尋** わたくしも汚染という意味で、radio active という字を使うときには、natural に存在する上に、artificial にでてきたもの、というようなつもりで使っております。それから地面から出てくるラドン、トロンは除いているんですが、そういうことに対して、量の問題でなくてオリジンの問題も考えなくてはならないと思えます。

**菅原** わたくしは汚染というと、言葉はきたなくなるということ、また英語の pollution contamination も、ただ混ってくるということではなく、何か純粋なものが不純になるということで、元来あながち害をおよぼすということではなかったのではありますまいか。いまお話の

ように放射能の場合には非常にはっきりしていると思えますが、ある場合にはちょっとね……。

**北田道男** 汚染源と大気汚染という問題ですが、たとえば煙突から出る煙や、ガスなどの微粒子によって大気汚染される場合に、煙突から出た煙は汚染とはいえないと思えます。それが出されて、攪拌して、そして空気に混ってくる。だんだん混ってくる。そういうものを問題にするんだと思うが、どこまでが汚染源であるか、どこから汚染であるかということは、气象台で観測しておりまして、今も頭を悩ましています。そばに汚染源がある場合に煙なんか、はたして汚染といえるかどうか、つまり広く一般的に混って、空気の中に、一様に混っているものを汚染というのか、非常に汚染源に近い煙なら、煙みtainなものを汚染というのか、その点疑問に思っています。

**菅原** 川の水でいえば、どれだけ染つたらこれは汚染水で、ここまではきれいな水ということはむずかしい。そういうようにどこからという限界を決めないで、常識的に使うより仕方がない言葉だと思いますね。

**石井** 一般に大気汚染という場合に、汚染の観測をするという場合には、煙にじかに当るようなものを観測して、はたして汚染というのかどうかという問題もあるわけですが、汚染といえば汚染に違いないと思うんですが。

**菅原** 大気汚染というものは、大気を中心にして大気からの性質のデヴィエーションを考えて、大気的基本的な性質がどれだけ変わるかということを中心に考えてゆくのが問題ではありますまいか。

**伊東** わたくしは大気汚染だけでなくコンタミネーションとか……そういう名前がたくさん出てくること自体まだ definition が決っていない証拠と思っております。この点各方面からの研究で初めて権威をうるのではないかと思っております。

## 大気汚染と輻射

**伊東** 何分にも時間を超過いたしましたので、話題提供の方をさきにお願ひしまして、あとから討論をお願いしたいと思いますのでご了承願ひします。

**山本義一(東北大学)** わたくしに与えられました題目は大気汚染と輻射ということなんですが、実は文献を捜してみしても何もないんです。表題の方は伊東さんから天降り式に押付けられてしまったので、仕方ありませんからわたくしが目下研究していることのお話をいたします。ガウスとかいう偉い数学者は完成したものでないと発表しないという方針だったそうですが、わたくしのような未熟なものはどうも仕方のないもので、こういう見当になるんじゃないかということ、さきに発表することになって、ちょっと申し訳ないんですが、話題の提供という意味でお許し願ひたいと存じます。

大気汚染とはなにかということにつきましては、いろいろ議論もありましたが、ここではごく広い意味に解釈しまして、菅原先生からお話がありました炭酸ガスによる大気の保温の問題と、もう1つは塵埃やエアロゾルといったようなものに大気の保温の効果があるかないかという2つの問題についてお話したいと思います。

最近新聞でしたか、ラジオでしたかカリフォルニア大学のカプラン教授が、今後60~70年ぐらいたったらニューヨークなんか海の底になってしまうだろうということを発表されました。おそらく今後炭酸ガスが加速度的に多くなって、そのために地球上の温度が高くなって、北極の氷がとけるという論法だと思います。そうなれば名古屋もどうせ水の底になるでしょう。(笑)

一番初めに炭酸ガスの保温効果を力説されたのは、有名

な化学者のアルレニュースという方でありまして、大きな類が繁茂したり、恐竜というようなものが横行した古生代や中生代が暖かったのは、炭酸ガスが多かったせいだというのであります。

それ以後こういう問題を研究した人は、文献をくつてみるとかなり多いんですが、最近になってアメリカのプラスという人が——これはジョンズ・ホプキンス大学のストロングという赤外分光学の大家のところまで研究されて、最近は飛行機会社の方へ入っておられるんですが——このプラスが、去年あたりでしたか、コータリジャーナルおよびテラスに、炭酸ガスによる気候の暖化の問題を発表して非常に注目をあびております。それから菅原先生もおっしゃいましたように、ロスビーなんかのところでも、炭酸ガスの正確な測定が非常に大事だということを力説されております。

炭酸ガスの作用をごくざっばにみますと、赤外部の12~18ミクロンあたりに強い吸収帯をもっていますので、地表が放射する赤外線を途中で吸収して、また地表へ送り返してくるので、大気中に炭酸ガスが沢山存在すると、それだけ地表の冷却がやわらげられるということになるのであります。

プラスの精密な計算によりますと炭酸ガスの量が2倍になれば地表の温度は3.6度昇温する。これは地表全体の平均として計算しております。

ところが、われわれ気象をやっておるものにとっては、こういう地表全体の昇温ということも大切ですが、それよりもその昇温がどういふような緯度分布をするか、それからまたもしあれば、昇温の高度分布はどうかというようなことの方が一層大事でありまして、それがわかると大気の大循環に対して及ぼす影響も推定できるということになります。そういうふうな方面からプラスの研究を進展させて緯度効果、高度効果をみたいというのがわたくしの考えであります。

もう一つ、プラスの研究にケチをつけるんじゃないんですが、彼は炭酸ガスの効果だけを扱っている。ところが大気中には赤外放射を吸収する物質として、もう一つ非常に重要な水蒸気がある。この水蒸気の吸収帯は、ご承知のように、非常に広い波長範囲にわたっていて、一部分炭酸ガスの吸収帯と重複しています。こういうふうな違った吸収物質が共存する場合には、その影響はそれぞれの積でもって与えられるわけですから、炭酸ガスの影響は小さく出てくるわけでありまして、プラスはこのことを考慮していない。わたくしは現実の大気についてその影響をみようと思う。それがすなわち緯度効果、高度効果を見ることになるわけでありまして、まだ完全な計算ができておりませんので、大気放射図によって、ざっばに計算した結果だけをご報告します。

大気の温度、水蒸気の分布についてはアメリカのロンドンという人が、北半球の3月について平均を出してお

りますが、そのうちの緯度0度から10度、および60度から70度のデータを用いることにします。実はもっと極に近い地方のデータが望ましいのですが、いいデータが手元にないので、北の方は60~70度の辺で我慢したわけです。

そこで空気中の炭酸ガスが2倍になったときにどれだけ地表に向ってやってくる放射がふえるかということの評価しますと、0~10°Nで0.0051 cal cm<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup>、60~70°Nでは0.0044 cal cm<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup>となります。つぎに大気の上端を出て行く放射量を知りたいのですが、残念ながらわたくしの大気放射図は70キロ、80キロという高いところまで使えませんので、22キロの辺の高さにおける外向きの放射の変化を調べてみますと、この高さでは0~10°Nで0.0061 cal cm<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup>、60~70°Nでは0.0025 cal cm<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup>だけ、炭酸ガスが2倍になると、それぞれ上へ出て行く放射量が減るという計算になるのであります。それでこういう値を使って炭酸ガスが、2倍になることによる、それぞれの緯度の温度の上昇を計算してみますと、0度から10度では地表および下層大気の昇温が0.3°C、それから大気の中層が1°Cぐらいの昇温になり、成層圏から対流圏の上の方が2°Cの昇温になります。それから60度から70度のところでは、わたくしの計算によりますと、地表が1°Cの昇温になって、大気は昇温がなにもなくなっていいということになる。——ただこういう状況は気象学的には不自然ですから、そこで地表および下層大気が1°Cの昇温があるとしますと、大気の中、上層は1.5°Cぐらいの大気の冷却がなければならぬ。次に極の付近の状況を推定しますと、ここではほとんど水蒸気がないけれども、地表および大気の温度も低いので、炭酸ガス倍増の効果は、矢張りプラスの評価より小さく、多分地表付近で2~3°Cの昇温、上層大気は同程度の冷却ということになるのではないかと想像します。ですからカプラン教授の極の氷がとけて60~70年先にはニューヨークが水没するという警告は、もう少し先のことと考えた方がいいようです。

わたくしの計算からもう一ついえることは、こういうふうな赤道地方では上層の温度が高くなり、高緯度地方では下層の温度が高く、上層は温度が低くなるとしますと、全体としてみれば下層も上層も、温度の子午線方向の勾配が小さくなるということで、すなわち炭酸ガスが増加すると大気の大循環が弱まる傾向になるということになります。以上が炭酸ガス増加の影響についての説明であります。

次に塵埃に保温作用があるかどうかという問題にうつりたいと思います。大体大阪とか、東京とか、名古屋とかというところは、その近郊よりも概して暖いといわれております。その理由として、多くの人がぼく然と考えていることは、都会地の上空にただよう塵埃やエアロゾルが都会の地表からの赤外放射放出による冷却を防い

でいる——丁度上に述べた炭酸ガスと同じような役割をしてしている——ということであると思います。

事実イギリスのロビンソンというキュー観測所の所長さんは、大気中の水蒸気、炭酸ガスだけによっては説明できないある余分の輻射が大気から地面へやってくるという結果を出しております。それに対して、ご承知の方もあるかと思いますが、わたくしと笹森が仙台で観測した結果を使って、ロビンソンと全く同じ解析方法をやった結果、夜間の気温の逆転を考慮に入れますと、ロビンソンのような余分の輻射は全然認められないのであります。しかし仙台はあまり工業の発達していない大都市でありますから、ここで余分の輻射が認められなくても、ロンドンのような大都会でもそうであるとは断言できません。それでここでは全く別の観点からこの問題を取扱ってみたいと思います。

その出発点として太陽輻射の減衰の考察からはじめます。太陽からの直達光は、ご承知のように、大気の外では  $1.94 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$  という値をもっていますが、それが地表に達するときにはひどいときには半分ぐらいの強さになってしまう。しかもそれは都会で大きく弱められる。もちろんその一部分は、純粋な空気の散乱によって弱められるが、大部分は水蒸気とか、エアロゾル、煤煙などの散乱などによって弱められる。そのことを表わすのが、リンケの濁濁係数といわれているもので、夾雑物による弱まり方を与えてくれるわけです。リンケの濁濁係数は日本でも求められておりまして、たとえば大阪の値を示しますと、年平均値が 4.46 であります。それに対して四国の清水では 2.82 という値になっておりまして、大阪の方が非常に空気が汚れているということがわかります。このリンケの濁濁係数は大気的全層に含まれる塵埃やエアロゾルによる濁濁の目安と考えられます。一方わたくしの方の実験室で人工的な煙の中を可視光線を通して、これがどれだけ弱められるかという実験を前からやっております。その実験から求められた散乱の係数とリンケの濁濁係数とから、大阪なら、大阪の気柱内に存在する全体の塵埃の量が一応評価できます。たとえば大阪ですとそれは  $4.19 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^2$  となります。

一方わたくしの方で同様な装置を使って、今度は人工煙の赤外線線の吸収係数をはかりました。その値と上で求めた塵埃の量を使うと、煤煙に対する赤外輻射の透過係数が評価できます。こうして大阪の大気を赤外線がどのくらい通るかということの評価をしてみますと、0.969 という値が得られます。これは煤煙によっては赤外線は大体 3 パーセントぐらいしか弱まらないという結果になります。このデータを使ってさらに水蒸気、炭酸ガス、エアロゾル、この 3 者が共存する場合と、水蒸気、炭酸ガスだけを考えた場合との地表における下向きの輻射量の差を出してみますと  $0.004 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$  となり、エアロゾルが存在することによって下向きの輻射量が 1 パー

セントぐらいしか増加しないという結果が得られました。これは現在の輻射の観測では誤差の範囲に入ってしまう。

そうしてみますと都会の塵埃の効果は太陽輻射と赤外輻射の両方を全体としてみると、想像されるような保温作用をしておらず、むしろ塵埃があるために都会は冷されていることになる。なぜかといいますと煤煙による可視光線の散乱によって、入射光の 30 パーセントぐらいはどこかへ散らされてしまい、それだけ入射光が弱められている。一方煤煙があることによって地面に与えられる下向きの輻射は上で述べたように非常に少ない。結局煤煙が多いということは、輻射だけの面からいうと都会を甚だしく冷すことになる。それならば都会は近郊よりも暖いといわれている理由をどこに求めるべきかということ、これからあとのことはわたくしの想像ですが、もちろん一つは都会の工場および家庭で発生される熱量が考えられます。さっきいわれましたように大阪などは、1 年間に 1 千万トンというように、非常にたくさんの石炭をたいているので、その熱量が都会を暖めていることは否定できません。さらにもつと気象学的原因も 2, 3 考えられます。それは東京なんかのような大都会ですと、人家の屋根はカワラかコンクリートが多く、道路もアスファルトなりコンクリートでできている。そのために降った水の大部分は下水に入ってしまう。雨が降っても、やむとすぐ乾いてしまって、その後の蒸発が非常に少いのではないかと思います。

ところが田舎の方は雨が降っても——地面へもちろんしみ込むんですが、草なんか生えていると非常に乾燥がおい、そのために長時間の間には蒸発が非常に多いということになります。アメリカのソーンズウェイトの蒸発量の評価によりますと、アメリカの東部地方では海なんかとほとんど同じくらいの蒸発量があるらしいですが、都会では蒸発量は少ない。それで蒸発の潜熱によって奪われる熱量が非常に少ない。このことが田舎に比較して都会の昇温の大きな原因ではないかと思えます。それから輻射の面からいきましても、田舎は都会に比べて草や木が非常に多い。それらが赤外輻射を失って冷えて、それが低熱源になるのですが、都会は屋根がワラとか、コンクリートの道路ですから輻射によってもあまり冷えない。ドイツのファルケンベルグの研究によりますと砂土の赤外輻射に対する黒体度は 89% 位ですが、ワラやコンクリートのそれもほぼ同じ位でしょう。これはワラやコンクリートが失う赤外輻射は黒体の場合よりも 11% 少ないということで、これらが冷えにくい理由はここにあります。ここでは具体的計算例を示す余裕はありませんが、こうした気象学的要因による保温効果が直接の発熱量に匹敵するか、またはそれ以上であることが簡単な計算で得られます。

大気汚染と輻射との関係について、以上 2 つの問題について述べてみました。