記念講演

大気汚染と気道の空気貯蔵機構

*小 野 議

The Role of Air-reservoir in the Respiratory
Tract in Air Pollution

Jo Ono, M. D.,

Keio University School of Medicine, Tokyo.

The air pollution has become a global problem. It is only natural that members of Japan Broncho-esophagological Society should have special interest and concern in the battle against this particular hazard.

In order to control and prevent the current hazard it is necessary first to familiarize ourselves with the basic anatomical and ecological conditions of the air ways in different animals as well as man.

The author reviews anatomy of the respiratory tract with special reference to air-reservoirs which characterize certain animals such as some mammals, amphibians and birds. Attempts are being made to verify the advantages of those possessing the air-reservoir as against those which lack this structure, for example man, when exposed to locally polluted air.

はじめに

私は先月の2日、ちょうど1月前になります
が、所用でヨーロッパにまいりました。羽田を
たつてアンカレッジから北極廻りでコペンハー
ゲンに向かったのですが、その途中現地
時間で夕暮にさしかかったのであります。

驚いたことに、夕暮になつても明かるい。夕
暮れが過ぎても光があるということでした。

ところで本日、日本気管食道科学会第22回総
会の皆様がたより私の古稀をお祝いくだされ誠
に感謝に堪えません。

古稀と申しますと、何と云つても人生の夕暮
であります。ところが、ただいま皆様がたの温
かい友情という光に浴しまして人生の『夕暮に
なつても光があ』るという聖句を身をもつて体

験いたした次第であります。

夕暮になつても光がある。これが私の精神的
余生を支える喜びとなり、感激となり感動とな
ることでありましょう。まことにありがとうございます。

大気汚染と気道の生理

さて、本日、ここに大気汚染と気道の空気貯
蔵機構につきまして、知見の一端を申し述べる
機会を与えられましたことは、私の非常な光榮
といたしますところであります。ただ、スライ
ドも御目にかけず漫談となるかも知れませんが
でこの点御容赦御願いたします。

大気汚染による公害は、日を追つて増悪し、
単に地域的問題にとどまらず、国家体制を越
えた全人類的な規模にまで拡大されつつあるの
であります。

*慶応義塾大学

申しあげるまでもなく、大気汚染は厳密な意味では異物による公害であります。むろん、この種の異物は臨床上の異物とは物理的形態において異なっております。しかし、気食道における、あらゆる異物に対して本学会が創立以来関心をよせてまいりました重要課題であるだけに、大気汚染に対してもその関心と憂慮においては変らないのであります。

ところで、最近、大気汚染の対応策として、ガスマスク、酸素ボンベ、ビニールバック等がその道の権威者により提唱され、しかも一部では、その使用が実用化されつつあるのが現状であります。

ところが、ある種の動物の気道には、このビニールバッグと酷似の空気貯蔵庫の機構を有するものが少なくありません。これは生物と環境との関連上、何を意味し、何を目的とするものでありましようか。

そこで、大気汚染の直接襲撃を受ける気道と、そこから派生する空気貯蔵庫すなわち air sac の本来の姿を眺めて見てはと思う次第であります。そうした意味で、人類を含む哺乳類、両棲類、鳥類等の気道について、先人の研究を土台として、解剖学的生態学的に考察を加えて見たいと存じます。

気道の生理作用として、主なるものは4つあります。第1には空気を肺に送る空気導入作用 air conduction である。第2は空気を温める加温作用 air warming で、第3は空気を湿おうす加湿作用 air humidification で、第4は空気を清潔にする浄化作用 air cleansing 等が挙げられます。特に第4の空気浄化作用は大気汚染と密接な関係にあるのでありますが、ここでは省略させていただきます。

気道の空気貯蔵機構

そこで動物の気道を全体的に眺めますと以上4つの生理作用のほかに一般にはあまり挙げられていないいま1つの作用すなわち空気貯蔵の作用を加えたいと私は考えるのであります。

そうした意味で問題を動物における空気貯蔵庫、すなわち air sac とその周辺に絞って申し上げることにいたします。

1. 哺乳類の空気貯蔵機構

まず人間に最も近いとされている類人猿を見ますと、チンパンジー、猩々、ゴリラ等の air sac は喉頭室の外壁から発生し、特にオスでは頸部、胸部、腹部から前脚の根元まで拡がっている巨大なものであります。これらの動物は外敵の襲来または急激な運動に際して、この air sac を前脚で絞って空気を肺に送り込むのでありますが、この方法は喉頭から直接肺に送気されるので、鼻腔を通して吸い込むよりも近道であるばかりでなく、大量の空気を一挙に送気が可能であります。そうしたことから、救急の際はもちろん、恐らくは大気汚染が局地的に存在する場合には空気の貯蔵という点で極めて有利であることが考えられるのであります。

人間にも遠い先史時代には air sac が見られたのでありますが進化の途上でその影をひそめ、現在では痕跡だけが残っており、僅かに laryngocele として報告されるに過ぎないのであります。

次に同じ哺乳類の鯨類を見ますと、ある種の鯨は鼻腔内に air sac があり、それは大脳よりも大きいと云われております。この air sac には、フロ桶の栓のような閉鎖弁があり、肺内の空気が古くなると、その蓋を開いて清浄な空気と入れ替えるのですが、そのときに見られるのが鯨の潮を吹く光景なのであります。鯨の研究で有名な小川博士によりますとイワシクジラは鼻腔ではなく喉頭前壁に筋肉性の厚い壁をもった大きな air sac があると云われております。何れにしてもこの air sac は一般に云われている浮き袋としてよりも空気の倉庫として役立たせていると見ることができるのであります。その証拠に Negus によりますと鯨の水中の潜水時間は120分という長時間であります。これに対して air sac の持ち合わせのない犬では潜水時間が4分20秒、また人間では僅か2分30秒に過ぎないのであります。なお、試みに空気を入れたビニールバッグを鼻にあてておりますと外気を吸わずにおれる時間が相当延長されることは私自身たびたび体験しているところであります。

2. 両棲類の空気貯蔵機構

さて、次に系統発生学を、さかのぼって両棲類について観察して見たいと思います。両棲類の典型的動物はサラマンダーその他がありますが、ここではカエルについて観察いたしたいと思います。

カエルには哺乳類のような横隔膜や呼吸作用の支えとなる肋骨の構造は見られません。従ってカエルの呼吸はフィゴ式 *infrabuccal bellow* に空気が吹き込まれる作用と、嚥下作用とによつて行なわれております。フィゴ式に吹き込まれた空気を肺内に保存するには、声門下部に弁膜があつて空気の逆流を反射的に阻止しております。他方、口腔の側壁には *air sac* があつて古い空気と清浄なとを混合させる機能があるのでありますが、この新旧空気の混合作用は次の如く行なわれております。まず鼻腔を閉じて口腔下床の筋膜を下方に下げます。すると、口腔内圧が低下して肺からの空気が口腔内に吹きあげられます。次に口腔内の空気と肺からの空気とが混合された後、口腔の下床を押し上げて空気を再び肺内に送り返すのであります。この運動が終ると、鼻腔は直ちに開き口腔下床の上下運動により口腔と外界との間で換気が行なわれるのであります。

カエルが長時間水中にもぐつておれるということも口腔の *air sac* を通して再呼吸し得るからであるのであります。

3. 鳥類の空気貯蔵機構

最後に鳥類について眺めて見たいと思います。鳥には横隔膜はありません。また肺は非常に小さく胸廓のわずか $\frac{1}{8}$ に過ぎないのであります。しかも、肺は体壁に密着固定しているため生理的拡張度が少なからず制限されております。しかし、この拡張制限という不利な条件をうめあわすかのよう、に、頸部、胸部、腹部にまたがつて合計11個の *air sac* があります。これらの *air sac* と肺との間には1種の内呼吸 *internal respiration* が行なわれ飛行を有利にいたしておるのであります。

1例をあげますと、哺乳類では急激な運動は呼吸困難を誘発いたしますが、鳥類では逆に呼吸を容易にすると云われております。それは鳥が飛行しているときには、翼の上下運動によつ

て肺と *air sac* との間に反射的にチームワークが行なわれ、勞せずして自動的に呼吸が行なわれるからであります。鳥では速く飛べば、速く飛ぶほど、肺内の空気の循環が促進される仕組みとなつていのでありますがこのことはエネルギーの節約となることは申すまでもありません。そういうわけで、ある種の鳥、特に軍艦鳥 *frigate bird* は1時間に100マイル飛ぶのは平気であるとされております。また、大島氏によりますとムナグロという鳥はアラスカからハワイ島まで渡るのであります途中翼を休める鳥がないので3,000キロという距離を35時間で一挙に翔破すると云われております。

あの小さな体軀でどうしてそれだけのエネルギーが貯えられているかは翼の上下運動と *air sac* の伸縮運動によつて呼吸がシンクロナスに行なわれるためなのであります。

以上、哺乳類、両棲類、鳥類における気道の *air sac* について申し上げましたが、*air sac* は単に浮袋的存在ではなく生命に不可欠の酸素源である空気の倉庫として重要な役割を演じているものと云うことができるのであります。

空気貯蔵機構としての気管

それでは *air sac* と密接な関係をもつ気管はどうでありましょうか。まず人間について見ますと、人の気管は内径2.3センチ、長さ12センチその内腔は生理学的には「死腔」*dead space* と呼ばれ、その名の示す如く、あまり重要視されておらないかのようであります。

人では空気の1回呼吸量は平均500ccですが、そのうち100cc乃至140ccは死腔量で新陳代謝の対照とはなつていないのであります。

また人では気道の末梢部である肺胞が7億5,000万もありますが、その延べ面積は1,000平方フィートでテニスコートぐらいあります。この肺胞内の空気の入れ替えとなると容易ではありません。というのは、気管支に見られるような筋組織は肺胞に欠けており、ガス交換は空気の混合作用 *air mixing* によつて拡散されなければならないからであります。この空気混合作用には *paries membraneous* によつて代表されます気管気管支筋の運動が特に重要なことは申

すまでもありません。

ところで犬や兎では、この気管支筋 *musculus trachealis* は気管軟骨の外側に附着しておりますが、人間では軟骨の内側にあります。そのため気管支鏡検査の際、内腔の生理的運動は特に小児や喘息患者に明瞭に観察されます。このことは会員の皆様がたが経験されおられておられる通りであります。

人の気管気管支の運動は貧弱であります、鳥では気管の縦走筋の発達には著しく、気管をアコーディオンの如く伸縮して死腔気 *dead space air* を出来るだけ少なくする仕組みになっているのであります。

また、馬では気管は、われわれの調べではその長さが 75~80cm、軟骨は 50~60本、気管の内径は 7cm で私共の腕ほどあります。特に注目されますことは、人では気管軟骨は馬蹄形を形成しているのに対し、馬では軟骨は後側でオーバーラップしているばかりでなく、気管内腔の後側 $\frac{1}{3}$ は極めて強力な気管筋で橋渡しとなっており、そのため、吸気時には膜様部は弛緩して内腔は著明に拡大し大量の空気を肺に送り、呼気時には逆に収縮して *dead space air* を極度に絞り出すことができるのであります。こうした *dead space air* の著明な新陳代謝により馬をして快速動物の王様たらしめているものと考えられるのであります。

また豚も馬同様の機構のほか気管の右側壁には副気管支が出ております。しかし馬のような *paries membraneus* の発達はなくその運動は活発でないものであります。

以上申し上げましたように典型的な気管は本 1 で体躯に釣り合いのとれた形態となっており、例外もまた少なくないのであります。

例えばインド洋の海牛、ペンギン、コーノトリ等は気管が 2 本あると記載されております。またナマケグマの気管は 1 本であるが非常に長く、一旦横隔膜まで下降し、反回上行してループを形成して肺につらなっております。また、私の調べました 3 羽の鵜では、身長平均 87cm に対し気管は 31cm で、身長 $\frac{1}{3}$ を上回っておりますが、その間に 112 本の気管軟骨が見られるのであります。これは人間の気管軟骨数の 6

倍に当っているのであります。

このように、気管があるいは太く、あるいは長く、あるいは複数に存在するということは、空気の通路としてだけでなく、空気の貯蔵庫として、*air sac* に準ずる役割を演じているのではないかと考えられるのであります。

考察及び結語

以上、動物における、気道と空気の貯蔵機構について申し上げましたが、動物の *air sac* と、ある種の動物の気管は単なる浮き袋としてだけでなく、生命に不可欠の酸素源の倉庫として重要な役割をもつものと考えたいのであります。もしそうだとすれば、局所的の大気汚染に直面した場合、空気の貯蔵機構に恵まれた動物の方が、前に述べましたように生命の保持という点では、これの持ち合わせのない人間より遙かに有利であると考えられるのであります。

また特に鳥類に見られるように、動物では生活活動のエネルギーは、驚くべき合理性をもって体内に貯蔵され、それを無理することなく、節約しながら利用しているのが注目されるのであります。

これを要するに、生態学的に見まして、これらの動物の行動は、自然界の法則に対して調和的であり、環境の変化に素直な態度で順応しているように考えられるのであります。

これに対して人間はどうでしょうか。気道だけを見ましても *air sac* は痕跡をとどめるに過ぎず、気管も極めて貧弱で見るべき特長はありません。

むしろ、その代り、発達した頭脳によつて、文明の利器を開発し、これを身につけ、不完全な生理的機能を科学的技術によつて埋め合わせ、必要に応じて、さきほど触れましたガスマスクや酸素ボンベを即座に備えつけることができるのであります。

しかし、最近各種の公害の状況を見ますと、人間は果たして、自然界との調和を図り、均衡を保とうとしているのかどうか気がなるのであります。

万物の霊長を誇る人間が、自然を征服し、自然を独専しようとする意気は、それ自体賞讃に

価するところであります。しかし、頭脳の発達だけが独走し、他の器官の発達がそれに追いつけず、均勢を失つてはいないか。そのため、切角の長所が逆に禍を招き人間を含む全生物の自滅の道を辿ることはないか。ここが心配されるのであります。

汚染密度が世界一である日本における大気汚染をはじめ数多くの公害問題が重大な段階を迎えた今日、解剖学的生理生態学的な土台の上で、人間の『生きかた』をもう一度真剣にふり返つて検討しわれわれの日常生活を正しい軌道に乗せたいものとするものであると考へております。それが広い意味での大気汚染という異物処理の問題とも結びつくのではないか。かように考へる次第であります。

本日、この記念講演の機会を、お与え下さいました日本気管食道科学会総会々長内藤儒教授に対し厚く御礼申し上げますと共に本会々員皆様がたの御清聴ありがとうございました。(昭和45年10月3日日本気管食道科学会総会における講演)

主 要 文 献

- 1) Cole, F.J.: A History of Comparative Anatomy, Macmillan Co., 1949.
- 2) Jackson, Chevalier and Jackson, Chevalier L.: Diseases of the Nose, Throat and Ear. W. B. Saunders Co., Philadelphia, 1946.
- 3) Miller, William Snow: the Lung, Second Edition, Charles C. Thomas, Springfield, Illinois, 1947.
- 4) Negus, Sir Victor: the Biology of Respiration. E. & S. Livingstone Ltd. Edinburgh and London, 1965.
- 5) Negus, V. E.: the Comparative Anatomy and Physiology of the Larynx. Grune and Stratton Inc. New York, 1949.
- 6) 小川鼎三: 鯨の話, 中央公論社。昭和34年
- 7) 小野譲: 気道異物の誘因に関する形態学的根拠。日本気管食道科学会々報, 第20巻第1号, 1969年2月号
- 8) 大島広: 生きもの百態, 緒方書店。昭和34年
- 9) Villee, Claude A.: Biology, W. B. Saunders Co., Philadelphia, 1957.
- 10) Walter, Herbert E. and Sayles, Leonard P.: Biology of the Vertebrates. The Macmillan Co. New York, 1949.