

土木・環境系コアテキストシリーズ 編集委員会

編集委員長

Ph.D. 日下部 治 (東京工業大学)

[C: 地盤工学分野 担当]

編集委員

工学博士 依田 照彦 (早稲田大学)

[B: 土木材料・構造工学分野 担当]

工学博士 道奥 康治 (神戸大学)

[D: 水工・水理学分野 担当]

工学博士 小林 潔司 (京都大学)

[E: 土木計画学・交通工学分野 担当]

工学博士 山本 和夫 (東京大学)

[F: 環境システム分野 担当]

このたび、新たに土木・環境系の教科書シリーズを刊行することになった。シリーズ名称は、必要不可欠な内容を含む標準的な大学の教科書作りを目指すとの編集方針を表現する意図で「土木・環境系コアテキストシリーズ」とした。本シリーズの読者対象は、我が国の大学の学部生レベルを想定しているが、高等専門学校における土木・環境系の専門教育にも使用していただけるものとなっている。

本シリーズは、日本技術者教育認定機構（JABEE）の土木・環境系の認定基準を参考にして以下の6分野で構成され、学部教育カリキュラムを構成している科目をほぼ網羅できるように全29巻の刊行を予定している。

A 分野：共通・基礎科目分野

B 分野：土木材料・構造工学分野

C 分野：地盤工学分野

D 分野：水工・水理工学分野

E 分野：土木計画学・交通工学分野

F 分野：環境システム分野

なお、今後、土木・環境分野の技術や教育体系の変化に伴うご要望などに応じて書目を追加する場合もある。

また、各教科書の構成内容および分量は、JABEE 認定基準に沿って半期2単位、15週間の90分授業を想定し、自己学習支援のための演習問題も各章に配置している。

従来土木系教科書シリーズの教科書構成と比較すると、本シリーズは、A

分野（共通・基礎科目分野）に JABEE 認定基準にある技術者倫理や国際人英語等を加えて共通・基礎科目分野を充実させ、B 分野（土木材料・構造工学分野）、C 分野（地盤工学分野）、D 分野（水工・水理工学分野）の主要力学 3 分野の最近の学問的進展を反映させるとともに、地球環境時代に対応するため E 分野（土木計画学・交通工学分野）および F 分野（環境システム分野）においては、社会システムも含めたシステム関連の新分野を大幅に充実させているのが特徴である。

科学技術分野の学問内容は、時代とともにつねに深化と拡大を遂げる。その深化と拡大する内容を、社会的要請を反映しつつ高等教育機関において一定期間内で効率的に教授するには、周期的に教育項目の取捨選択と教育順序の再構成、教育手法の改革が必要となり、それを可能とする良い教科書作りが必要となる。とは言え、教科書内容が短期間で変更を繰り返すことも教育現場を混乱させ望ましくはない。そこで本シリーズでは、各巻の基本となる内容はしっかりと押さえたうえで、将来的な方向性も見据えた執筆・編集方針とし、時流にあわせた発行を継続するため、教育・研究の第一線で現在活躍している新進気鋭の比較的若い先生方を執筆者としておもに選び、執筆をお願いしている。

「土木・環境系コアテキストシリーズ」が、多くの土木・環境系の学科で採用され、将来の社会基盤整備や環境にかかわる有為な人材育成に貢献できることを編集者一同願っている。

2011 年 2 月

編集委員長 日下部 治

日本の大気汚染は、1880年代に足尾銅山など鉱石の精錬に伴って排出された硫黄酸化物による煙害から始まった。当初は精錬業などの特定の業種に限定されていた煙害については、1900年ごろから1930年ごろにかけて工場の集積と大型化により排出源が多岐にわたるようになり、大気汚染が進行していった。戦後1955年～1964年の高度経済成長時代には、官民挙げての工業化の推進により工場等からの排ガスは著しい大気汚染をもたらした。また、その後のモータリゼーションの急激な進展は、それまでの固定排出源に加えて移動する排出源を生み出し、幹線道路沿いに大気汚染をもたらした。このような状況に対して、政府は1962年にばい煙規制法、1967年に公害対策基本法、1968年に大気汚染防止法を成立させてつぎつぎと法規制を行ったが、規制と対策は後手にまわり、四日市ぜんそくなどの深刻な健康被害を引き起こした。その後、「産業発展のためとはいえ公害は許さない」という住民の意識の高まりがあり、1970年の公害国会と呼ばれる国会での審議と法規制の強化など、総合的な公害対策がようやくとられるようになり、しだいに大気汚染問題も沈静化していった。

その結果、早くから対策が講じられた二酸化硫黄については、現在では火山の影響を受けている地域を除き、全国的に環境基準値の10分の1あるいはそれ以下という良好な大気環境が実現している。しかしながら、光化学オキシダントに関しては対策が困難なこともあり、2008年度においての環境基準達成率は一般環境大気測定局で0.1%、自動車排出ガス測定局では0%という状況であるなど課題も多い。

また大気環境問題は、近年では地球温暖化やオゾン層の破壊、酸性雨の問題など地球規模の環境汚染としても認識されている。

本書は、土木工学を学ぶ学生のための大気環境の教科書として執筆した。幸い、日本にはかつて経験した大気汚染を防止するために開発された優れた公害防止技術があり、環境工学の一翼を担っている。これらの技術は公害防止装置として工場などで生かされるのであるが、環境工学のみならず土木工学の技術が融合して初めて装置の設計、建設、運転が可能となる。本書では実際の大気汚染防止装置を数多く紹介した。

1章の「地球の大気」では地球大気の構造について述べるが、ここでは特に地球大気の“厚みのなさ”を理解してもらいたい。その中でいきすぎた経済活動は大気汚染を引き起こす。2章の「公害概論」では、日本がかつて経験した公害とその対策、大気汚染の現状について述べる。3章の「燃料の使用と大気汚染」では、大気汚染を引き起こす燃焼について理解を深める。4章の「ばい煙防止技術」と5章の「集じん技術」では、大気汚染物質を発生させないための予防的な技術や、大気汚染物質が発生した場合に煙突から大気に拡散する前に除去する工学的技術について解説する。6章の「大気汚染物質の拡散」では、煙突から大気に出てしまった汚染物質の拡散を解析する手法について述べる。現在ではインターネット上で気流を解析する手法も公開されており、「ある時点においてある地点にたどり着いた空気塊がどこを経由してきたのか」といったことも容易に解析できる。その手法についても簡潔に解説した。

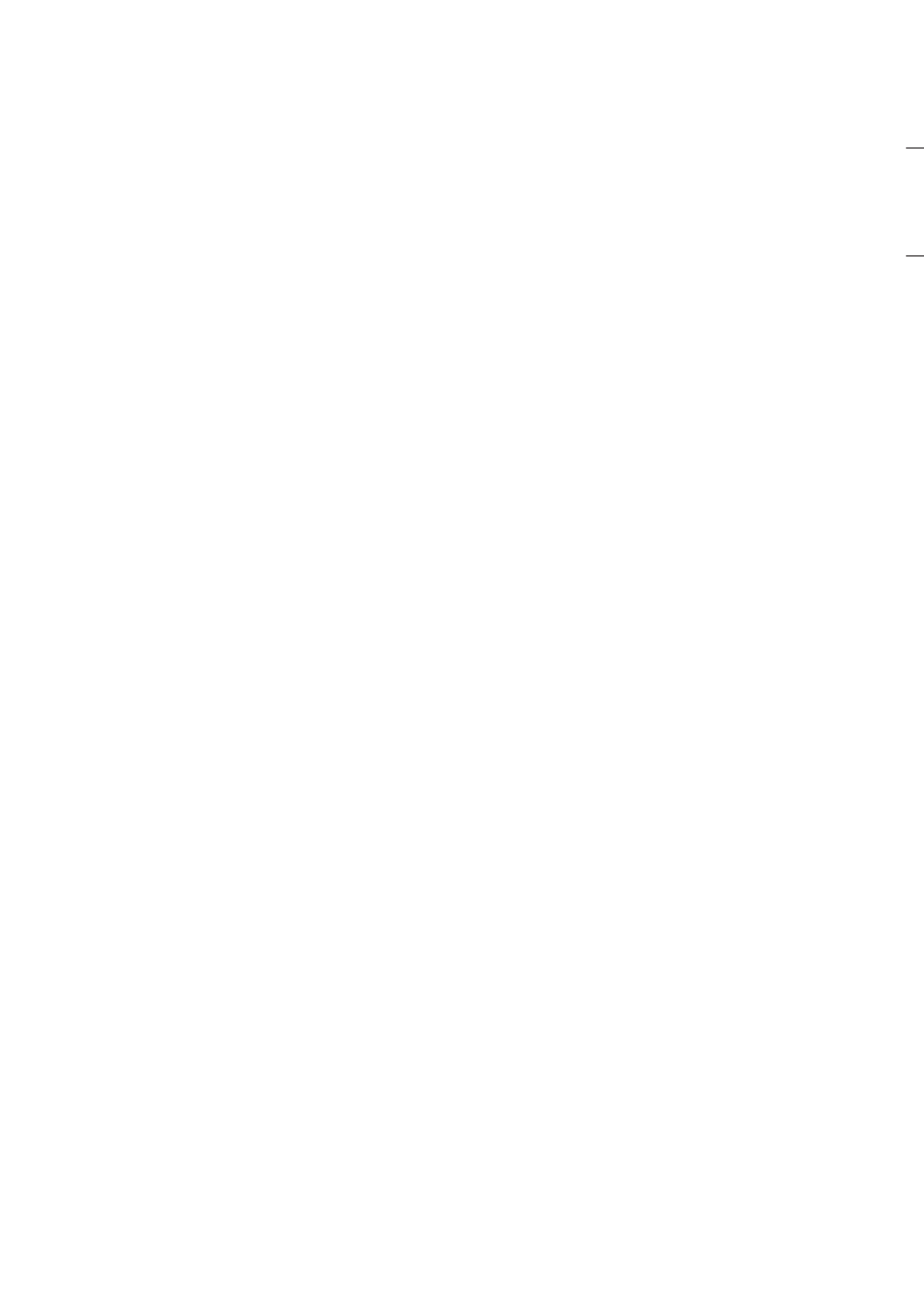
なお、これらの内容は筆者が富山県立大学工学部環境工学科において開講している「大気環境管理」の内容に沿ったものである。この講義は公害防止管理者（大気関係第1種）の資格取得を念頭に置いて開講しているものであり、在学中に試験に合格する学生もいる。大気関係第1種を受験する者にとっては、出題範囲の中で燃焼計算と拡散計算が最も難しく思えるだろう。期末試験でも正答率が低いのはこの部分である。そのような経験に基づき、本書では特にこの部分を詳しく例を挙げながら解説し、公害防止管理者の試験問題にも対応できるように工夫した。

土木工学を学ぶ学生諸君に対して大気環境工学の理解が少しでも進めば幸いである。将来、公害防止管理者（大気）の資格取得を目指す学生には本書の内容を振り返っていただければ、試験勉強の一助となるであろう。

最後に、本書執筆の機会を与えていただいた東京大学の山本和夫教授に感謝の意を表する次第である。

2012年3月

川上 智規



1章 地球の大気

- 1.1 地球大気の成り立ち 2
- 1.2 大気の構造 5
- 1.3 大気大循環 7
- 1.4 地球大気の熱収支と地球温暖化 9
- 演習問題 15

2章 公害概論

- 2.1 公害の歴史と法規制 17
 - 2.1.1 鉱石精錬による大気汚染 17
 - 2.1.2 工場集中型の大気汚染とばい煙規制法 17
 - 2.1.3 公害対策基本法と大気汚染防止法 18
 - 2.1.4 公害国会 19
 - 2.1.5 自動車による大気汚染 20
 - 2.1.6 環境庁の発足と公害健康被害補償法 20
 - 2.1.7 環境基本法 23
 - 2.1.8 自動車 NO_x・PM法 24
 - 2.1.9 低濃度有害物質の規制 24
 - 2.1.10 環境省の発足 25
 - 2.1.11 揮発性有機化合物の規制 26
 - 2.1.12 PM2.5 26
- 2.2 環境基準 27

| | | |
|-------|-------------------|----|
| 2.3 | 大気汚染物質の発生と大気中濃度 | 29 |
| 2.3.1 | 硫黄酸化物 | 30 |
| 2.3.2 | 一酸化炭素 | 31 |
| 2.3.3 | 窒素酸化物 | 32 |
| 2.3.4 | 浮遊粒子状物質 | 34 |
| 2.3.5 | 光化学オキシダント | 38 |
| 2.3.6 | 揮発性有機化合物と非メタン炭化水素 | 39 |
| 2.3.7 | そらまめ君 | 41 |
| 2.4 | 大気汚染防止法による規制 | 42 |
| 2.4.1 | 規制方式 | 42 |
| 2.4.2 | 硫黄酸化物 | 45 |
| 2.4.3 | ばいじん | 46 |
| 2.4.4 | 有害物質 | 47 |
| 2.4.5 | 揮発性有機化合物 | 48 |
| 2.4.6 | 粉じん | 49 |
| 2.4.7 | 特定物質 | 49 |
| 2.5 | 大気汚染による影響 | 49 |
| | ■ 曝露量と健康影響 | 49 |
| 2.6 | 地球規模の大気環境問題 | 51 |
| 2.6.1 | 地球温暖化 | 51 |
| 2.6.2 | 成層圏オゾン層の破壊 | 54 |
| 2.6.3 | 酸性雨 | 55 |
| | 演習問題 | 63 |

3章 燃料の使用と大気汚染

| | | |
|-----|------|----|
| 3.1 | 燃料 | 65 |
| 3.2 | 気体燃料 | 69 |
| 3.3 | 液体燃料 | 71 |
| 3.4 | 固体燃料 | 73 |
| 3.5 | 発熱量 | 75 |

| | | |
|-------|--------------|----|
| 3.6 | 燃 焼 計 算 | 77 |
| 3.6.1 | 気体燃料の燃焼計算 | 78 |
| 3.6.2 | 液体・固体燃料の燃焼計算 | 82 |
| 3.6.3 | 大気汚染物質の濃度 | 84 |
| 3.6.4 | 排 ガ ス 分 析 | 86 |
| 3.6.5 | 通 風 | 88 |
| | 演 習 問 題 | 91 |

4章 ばい煙防止技術

| | | |
|-------|----------------------------|-----|
| 4.1 | 硫黄酸化物の低減・除去技術 | 93 |
| 4.1.1 | 石油燃料からの水素化脱硫装置 | 93 |
| 4.1.2 | 排煙脱硫装置 | 95 |
| 4.2 | 窒素酸化物の低減・除去技術 | 99 |
| 4.2.1 | 燃料中からの窒素の除去 | 100 |
| 4.2.2 | サーマル NO _x の発生抑制 | 100 |
| 4.2.3 | 排煙脱硝装置 | 103 |
| 4.2.4 | 自動車からの排ガス対策 | 105 |
| 4.3 | 有害物質の除去技術 | 106 |
| 4.3.1 | カドミウムとその化合物 | 106 |
| 4.3.2 | 塩素および塩化水素 | 106 |
| 4.3.3 | フッ素およびフッ化水素 | 109 |
| 4.3.4 | 鉛とその化合物 | 109 |
| | 演 習 問 題 | 110 |

5章 集じん技術

| | | |
|-------|------------|-----|
| 5.1 | ダストの粒径分布 | 112 |
| 5.2 | 集じん装置の性能評価 | 113 |
| 5.2.1 | 集 じ ん 率 | 113 |
| 5.2.2 | 圧 力 損 失 | 115 |
| 5.2.3 | エネルギー消費 | 115 |

| | | |
|-------|----------|-----|
| 5.3 | 集じん装置の種類 | 115 |
| 5.3.1 | 重力集じん装置 | 116 |
| 5.3.2 | 慣性力集じん装置 | 118 |
| 5.3.3 | 遠心力集じん装置 | 120 |
| 5.3.4 | 洗浄集じん装置 | 122 |
| 5.3.5 | ろ過集じん装置 | 124 |
| 5.3.6 | 電気集じん装置 | 126 |
| | 演習問題 | 130 |

6章 大気汚染物質の拡散

| | | |
|-------|--------------------------|-----|
| 6.1 | 拡散の基本概念 | 132 |
| 6.2 | 拡散計算 | 134 |
| 6.2.1 | 大気安定度 | 134 |
| 6.2.2 | 有効煙突高さの計算（ダウンウォッシュのない場合） | 138 |
| 6.2.3 | 有効煙突高さの計算（ダウンウォッシュのある場合） | 142 |
| 6.2.4 | 拡散計算（パフ式） | 143 |
| 6.2.5 | 拡散計算（ブルーム式） | 147 |
| 6.2.6 | 拡散幅の推定方法 | 149 |
| 6.2.7 | レセプターモデル | 155 |
| 6.3 | 大気汚染物質の長距離輸送 | 156 |
| 6.3.1 | 地 衡 風 | 156 |
| 6.3.2 | 長 距 離 輸 送 | 162 |
| | 演習問題 | 164 |

引用・参考文献 165

演習問題解答 167

索 引 172

1 章

地球の大気

◆本章のテーマ

現在の地球の大気組成は地球が誕生したときから大きく変化し、太陽系の惑星の中では唯一酸素を含有する独特のものとなっている。本章では、この地球大気の成り立ちについて地球がたどった歴史とともに解説する。また、現在の大気の鉛直方向の構造や、太陽から受けた熱が赤道付近から極まで効率よく運搬される大気大循環システムについて述べる。さらに、地球温暖化のメカニズムについても地球の熱収支の観点から解説する。

◆本章の構成（キーワード）

- 1.1 地球大気の成り立ち
金星，地球，火星の大気組成，嫌気的な雰囲気，酸化的な雰囲気
- 1.2 大気の構造
対流圏，成層圏，中間圏，熱圏
- 1.3 大気大循環
ハドレー循環，フェレル循環
- 1.4 地球大気の熱収支と地球温暖化
太陽放射，太陽定数，地球放射，放射平衡，温室効果ガス

◆本章を学ぶと以下の内容をマスターできます

- ☞ 地球大気の組成と鉛直構造
- ☞ 地球上の大まかな気候を決定づける大気大循環
- ☞ 地球温暖化のメカニズム

1.1 地球大気の成り立ち

太陽系が形成されたのは約 46 億年前といわれている。太陽系の惑星の中で水星、金星、地球、火星は固体の地面を持ち、地球型惑星と呼ばれている。その他の惑星はガスでできていると考えられていて、木星型惑星と呼ばれている。地球型惑星のうち**大気** (atmosphere) を有するものは、金星、地球、火星である。水星は強い太陽風[†]を受けて大気は吹き飛ばされたと考えられている。現在の各惑星の大気組成を表 1.1 に示す。地球の両隣の金星と火星は**二酸化炭素** (carbon dioxide) 中心の組成を持つのに対し、地球だけは**窒素** (nitrogen) と**酸素** (oxygen) を主成分としている。地球大気も地球ができた初期の段階では一時期、金星や火星と同様に二酸化炭素中心の組成を持っていたと考えられている。しかし、地球ではその後の化学反応や生物反応により、しだいに組成が現在のものに変化してきたのである。以下で、**地球大気組成** (Earth's atmospheric composition) の変遷について述べていく。

表 1.1 惑星の大気組成

| 大気組成 | 金星 | 地球 | 火星 | 木星 |
|--------------------------|-------|------|------|------|
| 二酸化炭素 (CO ₂) | 96.5 | 0.04 | 95.3 | |
| 窒素 (N ₂) | 3.5 | 78 | 2.7 | |
| 酸素 (O ₂) | | 21 | | |
| アルゴン (Ar) | 0.007 | 0.9 | 1.6 | |
| 水素 (H ₂) | | | | 88.8 |
| ヘリウム (He) | | | | 11.1 |
| メタン (CH ₄) | | | | 0.1 |

(単位：%)

地球は無数の微惑星の衝突により形成されたと考えられている。たまたま多くの微惑星どうしが衝突合体して周囲の微惑星より大きな質量を持つようになったものは、大きな引力によりさらに多くの微惑星を引きつけて成長する。原始地球はそのように周囲よりたまたま大きくなって成長した微惑星から形成

[†] 太陽の表面からは、約 100 万度という高温で分離した陽子と電子が秒速 300 ~ 800 km の速度で吹き出している。このガス (プラズマ) の流れを太陽風という。

された。微惑星の衝突時に発生する熱エネルギーによって微惑星は溶解し、内部に含まれていたガス成分が表面に蓄積して大気をつくっていった。その中には**水蒸気** (water vapor) や二酸化炭素、窒素が含まれていたが、それらの気体の温室効果と微惑星の衝突時の熱エネルギーによって原始地球の表面は溶解し、マグマの海に覆われた。このころの地球の大気は80%が水蒸気で、気圧は100気圧もあった。しかし、約38億年前には宇宙空間を漂う微惑星の数も減少し、衝突回数が減少して原始地球の成長は止まり、現在の地球とほぼ同程度の大きさとなった。当初は高温であった地球表面も、微惑星の衝突回数が減少するにつれて温度が低下した。気温が300℃程度まで低下したころ、大気中の水蒸気が凝結して雨が降った。雨は大量に降り注ぎ、短期間に海を一気に形成した。また、大気中の水蒸気分圧は低下し、二酸化炭素と窒素が主体の大気組成となっていた。約35億年前には大気の80%が二酸化炭素であったと推定されているが、現在では0.04%にまで低下している。これはおもに生物の働きによる。

生物が誕生したと考えられている約38億年前には、地球大気や海水中には酸素がなく、生物は**嫌気的な雰囲気** (anaerobic environment) で誕生した。グリーンランドのイスアと呼ばれる地域で約38億年前の**堆積岩**から生物の**痕跡**が発見されている。この時代にはすでに生命が繁栄していたという可能性を示すものである。

約35億年前には**藍藻**の仲間で行う光合成を行う生物が存在したことが知られている。オーストラリアの西海岸のノースポールという場所で約35億年前の地層からストロマトライトという化石が発見されている。このストロマトライトは藍藻の死骸と海水中の微細な土砂とが藍藻から出る粘液によって交互に固められてできたもので、球状の化石の内部に層状になった構造が特徴的に現れる。ストロマトライトは現在でもオーストラリアの西岸にあるシャークベイのハメリンプルという浅い海の中で見ることができる。ハメリンプルでは、表面を覆っている藍藻から光合成により生産された酸素が泡となって海水中に盛んに放出されている。このことから、約35億年前にもこのように光合成を

行う生物が地球上に生育し、海水中に溶け込んだ二酸化炭素を原料とし酸素を生産していたと考えられている。

当初は生産された酸素は海水に溶けて大気に放出されることはなかった。海水には2価の鉄が大量に溶けており、生産された酸素はまずこの鉄の酸化に用いられたからである。酸化されて生じた三価の鉄は溶解度が小さいため海底に沈殿し堆積した。このとき堆積した鉄が現在の鉄鉱床であり、われわれの文明を支えている。

約6億年前にはしだいに**酸化的な雰囲気**（oxic environment）となった海水中で、酸素を利用する好気性生物が出現した。ミトコンドリアを持つ生物である。好氣的な呼吸は、嫌氣的なエネルギー生産に比較して圧倒的に効率がよいため、激しい運動や、生物の大型化に有利なエネルギー生産システムである。このためカンブリア紀と呼ばれる5億数千万年前には、温暖な気候と相まって生物の劇的な進化と種類の増加があったとされる。しかし、そのころには地球大気には**オゾン**（ozone）の原料となる酸素が存在しなかったために**オゾン層**（ozone layer）が形成されず、太陽からの強い**紫外線**（ultraviolet rays）にさらされる地上に生物は上陸することができなかった。

海水中の鉄の酸化が終了し、大気中に酸素が放出されるようになったのは4億2千万年前ごろとされている。大気中に酸素が含まれるようになると急速にオゾン層が形成され、ようやく生物の陸上進出が可能となった。3億5千万年前ごろには、温暖な気候と高い二酸化炭素濃度によって巨大なシダなどが生い茂る森林が形成された。その結果、陸上植物の大繁茂による二酸化炭素の消費と酸素の生産が加速された。この時代から数千年前までの植物が**化石**（fossil）となり、現在石炭として利用されている。

二酸化炭素は、植物の光合成だけでなくサンゴ虫によっても利用されてきた。サンゴ虫は海水に溶け込んでいる二酸化炭素とカルシウムから炭酸カルシウムの殻をつくる。この殻はサンゴ虫の死後も残り、石灰石に変化することによって二酸化炭素を固定する。最古の石灰石として約31億年前のものが見つかっている。動物も約30億年にわたって二酸化炭素を固定してきたのである。

このように、30 億年を超える長い歴史の中で生物が二酸化炭素を減らし、酸素を生み出すことによって、しだいに現在の大气組成となった。この営みを通して、鉄鉱床が形成され、石炭がつくられ、また、石灰石がつくられるなど、現在のわれわれの生活に必要な不可欠な資源が生物によって作り出されてきたのである。

1.2 大 気 の 構 造

地球の大气は地表面から約 11 km までの**対流圏** (troposphere)、その上部の 50 km までの**成層圏** (stratosphere)、80 km までの**中間圏** (mesosphere)、さらにその上の**熱圏** (thermosphere) というように分類される。これは、**図 1.1** に示すような気温の高度分布の差異による分類である。対流圏では上空に行くほど気温が低下する。夏山に登ると涼しく感じるのはこのためである[†]。大气下層の温度が高いために密度が小さく、上層の空気と入れ替わる**対流現象** (convection) が生じやすい。このため対流圏と呼ばれる。しかし、成層圏では上空に行くほど気温が上昇する。これは、成層圏にあるオゾン層が太陽の紫

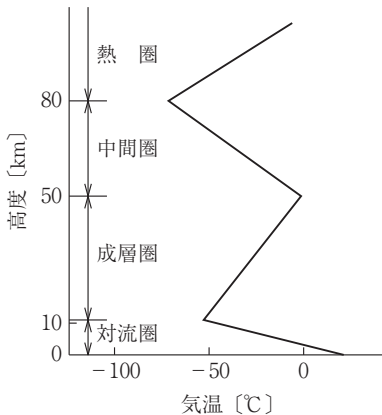


図 1.1 地球大气の鉛直構造

[†] 気温の減率は一般的に 100 m 当り約 0.6 °C である。平野部の気温が 25 °C のとき、富士山の山頂 (3 776 m) では約 2 °C と推定できる。

外線を吸収するために気温が上昇するからである。“雲ができる”あるいは“雨が降る”という気象現象は対流に伴う上昇気流の存在によってもたらされるが、成層圏では上空ほど気温が高いために上空にある空気ほど密度が小さく対流が生じない。したがって、対流が生じる対流圏内においてはこのような気象現象が発生するが、対流が生じない成層圏では発生しない。成層圏の天気はつねに快晴である。

中間圏では空気の密度がきわめて小さく、雲ができる、雨が降るというような気象現象は生じない。また、熱圏より上空では、空気の組成が窒素や酸素が主体のものから水素やヘリウムが主体のものに変化していく。

このように雲ができる、雨が降るといった気象現象が生じる対流圏を“地球大気の厚さ”として考えることが多いが、その厚さは11 kmである。対流圏の上端では気圧 (atmospheric pressure) が100 hPaと地上の10分の1になるため、それより上空には地球大気の質量の10分の1しか存在しない。成層圏の上端までを大気の厚さとした場合には、成層圏の上端での気圧は1 hPaなので、それより上空には大気の質量の1000分の1しか存在しない。このように、地球大気の質量の99.9%を含む成層圏の上端までを地球大気としてもその厚さは50 kmである。これに対して、地球の半径は $R_e = 6370$ kmなので[†],

コ ラ ム

雲の生成

雲は上昇気流があるところでできる。気塊が上昇すると断熱膨張により温度が低下する。温度が低下すると、飽和水蒸気圧は温度に応じて低下する。気塊の温度が低下して気塊に含まれる水蒸気圧が飽和水蒸気圧に達すると、水蒸気が凝結して雲ができる。したがって、雲ができるためには上昇気流による温度低下が必要であり、下降気流では断熱圧縮によって逆に温度が上昇するため雲は生じない。低気圧は上昇気流を伴うため、雨をもたらし。一方、高気圧は下降気流を伴うため、好天をもたらし。

[†] 地球の子午線の長さはぴったり4万 kmである。これは1799年に1 mの長さの基準を決めたときに、地球の子午線の長さの4千万分の1を1 mとしたためである。

索引

【あ】

| | |
|---|-----|
| 圧力損失 | |
| pressure drop | 113 |
| アメリカ海洋大気圏局 | |
| National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA | 163 |
| 安定 | |
| stable | 134 |
| アンモニア接触還元法 | |
| selective catalytic reduction process | 104 |

【い】

| | |
|-------------------|----|
| 硫黄酸化物 | |
| sulfur oxides | 93 |
| イタイイタイ病 | |
| Itai-itai disease | 19 |
| 一酸化炭素 | |
| carbon monoxide | 20 |

【え】

| | |
|------------------------------|---------|
| 液化石油ガス | |
| liquefied petroleum gas, LPG | 30, 69 |
| 液化天然ガス | |
| liquefied natural gas, LNG | 69 |
| 液体燃料 | |
| liquid fuel | 66 |
| エタン | |
| ethane | 69 |
| エネルギー消費 | |
| energy consumption | 113 |
| 塩化水素 | |
| hydrogen chloride | 106 |
| 遠心力集じん装置 | |
| centrifugal collector | 115 |
| 塩素 | |
| chlorine gas | 106 |
| 煙突 | |
| stack | 88, 132 |

【お】

| | |
|-----------------------|----|
| 押し込み通風 | |
| forced draft fan, FDF | 90 |
| オゾン | |
| ozone | 4 |
| オゾン層 | |
| ozone layer | 4 |
| 温室効果ガス | |
| greenhouse gas | 13 |

【か】

| | |
|--|--------|
| 拡散過程 | |
| air pollution dispersion | 132 |
| 拡散計算 | |
| dispersion calculation | 132 |
| 拡散幅 | |
| dispersion width | 134 |
| 確率密度 | |
| probability density | 143 |
| 可視光 | |
| visible rays | 11 |
| 過剰空気 | |
| excess air | 69 |
| 化石 | |
| fossil | 4 |
| 化石燃料 | |
| fossil fuel | 29, 65 |
| カドミウム | |
| cadmium | 106 |
| 環境基準 | |
| environmental standard | 20 |
| 環境省大気汚染物質広域監視システム | |
| Atmospheric Environmental Regional Observation System, AEROS | 41 |
| 慣性力集じん装置 | |
| inertial collector | 115 |

| | |
|--------------------------|-----|
| 乾燥断熱減率 | |
| dry adiabatic lapse rate | 135 |

【き】

| | |
|---------------------------------|-----|
| 気圧 | |
| atmospheric pressure | 6 |
| 気圧傾度力 | |
| pressure gradient force | 156 |
| 気温逆転 | |
| inversion | 136 |
| 規制物質 | |
| controlled substance | 20 |
| 気体燃料 | |
| gaseous fuel | 66 |
| 揮発性有機化合物 | |
| volatile organic compounds, VOC | 26 |
| 吸収剤 | |
| absorbent | 96 |
| 吸収塔 | |
| absorber | 96 |
| 急性影響 | |
| acute effect | 49 |
| 強制通風 | |
| forced draft | 88 |

【く】

| | |
|------------------|----|
| 空気比 | |
| excess air ratio | 80 |
| 空気量 | |
| amount of air | 77 |

【け】

| | |
|-----------------------|----|
| 軽油 | |
| gas oil | 71 |
| 嫌気的な雰囲気 | |
| anaerobic environment | 3 |
| 元素の組成 | |
| elemental component | 82 |

| | |
|------------------------------|--------|
| 原油 | |
| crude oil | 71 |
| 【こ】 | |
| 高位発熱量 | |
| higher heating value, HHV | 75 |
| 光化学オキシダント | |
| photochemical oxidant | 26 |
| 後方流跡線 | |
| back trajectory | 162 |
| 後方流跡線解析 | |
| back trajectory analysis | 162 |
| 高炉 | |
| blast furnace | 74 |
| コークス | |
| coke | 73 |
| 固体燃料 | |
| solid fuel | 66 |
| コリオリ力 | |
| Coriolis force | 8, 159 |
| コロナ放電 | |
| corona discharge | 126 |
| コンカウの式 | |
| Concawe formula | 142 |
| 【さ】 | |
| サイクロン | |
| cyclone | 120 |
| 最大着地濃度 | |
| maximum ground concentration | 132 |
| サーマル NO _x | |
| thermal NO _x | 99 |
| 酸化的な雰囲気 | |
| oxic environment | 4 |
| 三元触媒 | |
| three way catalyst | 105 |
| 酸性雨 | |
| acid rain | 51 |
| 酸素 | |
| oxygen | 2 |
| 【し】 | |
| ジェットスクラバ | |
| jet scrubber | 122 |

| | |
|--------------------------------|--------|
| 紫外線 | |
| ultraviolet rays | 4 |
| ジクロロメタン | |
| dichloromethane | 25 |
| 自然通風 | |
| natural draft | 88 |
| 自然破壊 | |
| destruction of nature | 19 |
| 集じん装置 | |
| dust collector | 112 |
| 集じん率 | |
| dust collection efficiency | 113 |
| 自由大気 | |
| free atmosphere | 156 |
| 重油 | |
| heavy oil | 71 |
| 重力集じん装置 | |
| gravitational collector | 115 |
| 所要空気量 | |
| required air | 80 |
| 【す】 | |
| 吸込み通風 | |
| induced draft fan, IDF | 90 |
| 水質汚濁 | |
| water pollution | 19 |
| 水蒸気 | |
| water vapor | 3 |
| 水素化脱硫装置 | |
| hydrodesulfurization unit, HDS | 72, 93 |
| 【せ】 | |
| 正規分布 | |
| normal distribution | 143 |
| 成層圏 | |
| stratosphere | 5 |
| 成層圏オゾン層の破壊 | |
| stratospheric ozone depletion | 51 |
| 製油所 | |
| refinery | 71, 93 |
| 製油所ガス | |
| refinery gas | 69 |
| 赤外線 | |
| infrared rays | 13 |

| | |
|---------------------------------------|--------|
| 石炭 | |
| coal | 65, 73 |
| 石油 | |
| oil | 65 |
| 洗浄集じん装置 | |
| wet scrubber | 115 |
| 前方流跡線 | |
| forward trajectory | 162 |
| 前方流跡線解析 | |
| forward trajectory analysis | 162 |
| 【た】 | |
| ダイオキシン類 | |
| dioxin | 25 |
| 大気 | |
| atmosphere | 2 |
| 大気安定度 | |
| atmospheric stability | 134 |
| 大気汚染 | |
| air pollution | 17 |
| 大気汚染物質 | |
| air pollutants | 132 |
| 大気汚染物質濃度 | |
| concentration of pollutant | 77 |
| 大気境界層 | |
| atmospheric boundary layer | 156 |
| 大気大循環 | |
| general circulation of the atmosphere | 7 |
| 太陽定数 | |
| solar constant | 9 |
| 太陽放射 | |
| solar radiation | 9 |
| 対流圏 | |
| troposphere | 5 |
| 対流現象 | |
| convection | 5 |
| ダウンウォッシュ | |
| downwash | 133 |
| 脱硫操作 | |
| hydrogen desulfurization | 30 |
| 脱硫装置 | |
| desulfurizer | 93 |

| | | | | | |
|---|-------------|---------------------------------------|--------|--|---------|
| 炭化水素 hydrocarbon | 20 | テトラクロロエチレン tetrachloroethylene | 24 | 排煙脱硝装置 flue gas denitrification unit | 33, 100 |
| 【ち】 | | 電気集じん装置 electrostatic precipitator | 116 | 排煙脱硫 flue gas desulfurization | 30 |
| 地球温暖化 global warming | 51 | 天然ガス natural gas | 65, 69 | 排煙脱硫装置 flue gas desulphurization unit | 93 |
| 地球サミット Earth Summit | 51 | 【と】 | | 排ガス分析 flue gas analysis | 86 |
| 地球大気組成 Earth's atmospheric composition | 2 | 灯油 kerosene | 71 | パーオキシアセチルナイトレート peroxi-acethyl nitrate, PAN | 38 |
| 地球放射 outgoing longwave radiation | 10 | トリクロロエチレン trichloroethylene | 24 | バグフィルター bag filter | 124 |
| 地衡風 geostrophic wind | 156 | 【な】 | | 曝露量 amount of exposure | 50 |
| 窒素 nitrogen | 2 | ナフサ naphtha | 71 | 波長 wave length | 10 |
| 窒素酸化物 nitrogen oxides | 20, 99, 106 | 鉛 lead | 106 | 発生源寄与 source apportionment | 155 |
| 着地濃度 ground concentration | 132 | 鉛化合物 lead compound | 20 | 発熱量 heating value | 75 |
| 中間圏 mesosphere | 5 | 【に】 | | ハドレー循環 Hadley circulation | 7 |
| 中立 neutral | 136 | 二酸化硫黄 sulfur dioxide | 17 | パフ式 puff dispersion equation | 143 |
| 長距離輸送 long-range transportation | 156 | 二酸化炭素 carbon dioxide | 2 | 払い落とし bag cleaning | 125 |
| 【つ】 | | 【ね】 | | 【ひ】 | |
| 通年エネルギー消費効率 annual performance factor, APF | 68 | 熱圏 thermosphere | 5 | 比エンタルピー specific enthalpy | 76 |
| 通風 draft | 88 | 燃焼 combustion | 29 | 微小粒子状物質 fine particulate matter | 26 |
| 【て】 | | 燃焼ガス量 amount of flue gas | 77, 80 | ヒートポンプ heat pump | 69 |
| 低NO _x 燃焼技術 low NO _x combustion | 33 | 燃焼計算 combustion calculations | 77 | 非メタン炭化水素類 non-methane hydrocarbon | 27 |
| 低NO _x バーナー low NO _x burner | 101 | 燃焼室熱負荷 heat load | 100 | 標準状態 standard condition | 78 |
| 低位発熱量 lower heating value, LHV | 75 | 燃焼装置 furnace | 75 | 標準偏差 standard deviation | 144 |
| | | 【は】 | | | |
| | | ばい煙 soot | 17 | | |

【ふ】

| | |
|---|-----|
| 不安定 unstable | 134 |
| フェレル循環 Ferrel circulation | 7 |
| 副産物 by-product | 96 |
| 袋状 bag | 124 |
| ブタン butane | 69 |
| フッ化水素 hydrogen fluoride | 106 |
| フッ素 fluoride | 106 |
| 沸点 boiling point | 71 |
| 部分集じん率 partial collection efficiency | 114 |
| 浮遊粒子状物質 suspended particulate matter, SPM | 34 |
| フューエル NO _x fuel NO _x | 99 |
| ブリッグスの式 Briggs equation | 141 |
| 浮力 buoyant force | 88 |
| ブルーム式 plume dispersion equation | 147 |
| プロパン propane | 69 |

【へ】

| | |
|--------------------------------------|-----|
| 平均 mean | 144 |
| 平衡通風 balanced draft fan, BDF | 90 |
| ベンゼン benzene | 24 |
| ベンチュリースクラバ venturi scrubber | 122 |
| 【ほ】 | |
| 放射平衡 Earth's radiation balance | 12 |
| ボサンケの第一式 Bosanquet equation | 139 |
| 【ま】 | |
| 慢性影響 chronic effect | 49 |
| 【み】 | |
| 水俣病 Minamata disease | 19 |
| 【め】 | |
| メタン methane | 69 |
| 【も】 | |
| モーゼスとカーソンの式 Carson-Moses equation | 140 |

【ゆ】

| | |
|----------------------------------|-----|
| 有効煙突高さ effective stack height | 133 |
|----------------------------------|-----|

【よ】

| | |
|--------------------------|----|
| 溶存酸素 dissolved oxygen | 98 |
|--------------------------|----|

【り】

| | |
|-------------------------------------|--------|
| 理想気体 ideal gas | 77 |
| 硫化水素 hydrogen sulfide | 94 |
| 粒子径分布 particle size distribution | 112 |
| 粒子状物質 particulate matter, PM | 20, 34 |
| 理論空気量 theoretical air | 79 |

【れ】

| | |
|----------------------------|-----|
| レセプターモデル receptor model | 155 |
|----------------------------|-----|

【ろ】

| | |
|-----------------------------|-----|
| ろ過集じん装置 fabric collector | 116 |
| ろ布 fabric filter | 124 |

【C】

| | |
|--|-----|
| CMB モデル chemical mass balance model | 155 |
|--|-----|

【H】

| | |
|--|-----|
| HYSPLIT モデル Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model | 162 |
|--|-----|

— 著者略歴 —

1982年 東京大学工学部都市工学科卒業
1984年 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了
(都市工学専攻)
1984年 東洋エンジニアリング株式会社勤務
1992年 富山県立大学短期大学部講師
1996年 博士(工学)(東京大学)
1998年 富山県立大学短期大学部助教授
2006年 富山県立大学短期大学部教授
2009年 富山県立大学教授
現在に至る

大気環境工学

Atmospheric Environmental Engineering

©Tomonori Kawakami 2012

2012年5月25日 初版第1刷発行

検印省略

著者 かわ しみ とも のり
川 上 智 規
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 新日本印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-05645-7 (中原) (製本:愛千製本所)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられております。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします