

環境工学

佐々木忠義

小島貞男 編

柳沢三郎

50.95
299.1
C.2

環境工学

佐々木忠義
小島貞男 編
柳沢三郎

34470/03

講談社サイエンティフィック



NDC 519 328 p 22 cm

環境工学

1977年4月20日 第1刷発行

編著 佐々木忠義
小島貞男
柳沢三郎

発行者 野間省一

発行所 株式会社 講談社

〒112 東京都文京区音羽2-12-21

電話 (03) 945-1111 (大代表)

振替 東京 8-3930

印刷所 奥村印刷株式会社

製本所 株式会社 黒岩大光堂

落丁本・乱丁本はお取りかえいたします

© T. Sasaki, S. Kojima, S. Yanagisawa, 1977

編集 講談社サイエンティフィク

Printed in Japan (KS)

編集・執筆者一覧

編集者

佐々木 忠義
小島 貞男
柳沢 三郎

東京水産大学学長

㈱日本水道コンサルタント中央研究所所長

慶応大学工学部教授

(1977年3月現在)

執筆者

有賀 祐勝
今上 一成
江木 弘三
大喜 多敏
柏谷 衛
倉品 昭二
黒木 敏郎
小島 貞男
近藤 次郎
桜井 善雄
佐々木 忠義
鈴木 正臣
千秋 信一
橋本 奨
山手 登
吉田 多摩夫

東京水産大学水産学部助教授

通産省工業技術院公害資源研究所公害第2部第3課長

通産省工業技術院公害資源研究所公害第2部第2課長

北海道大学工学部教授

建設省土木研究所赤羽支所下水道部長

海上保安庁水路部海象課主任調査官

東京水産大学水産学部教授

㈱日本水道コンサルタント中央研究所所長

東京大学工学部教授，工学部長

信州大学繊維学部助教授

東京水産大学学長

通産省工業技術院公害資源研究所公害第2部第1課長

財団法人 電力中央研究所・土木技術研究所所長

大阪大学工学部教授

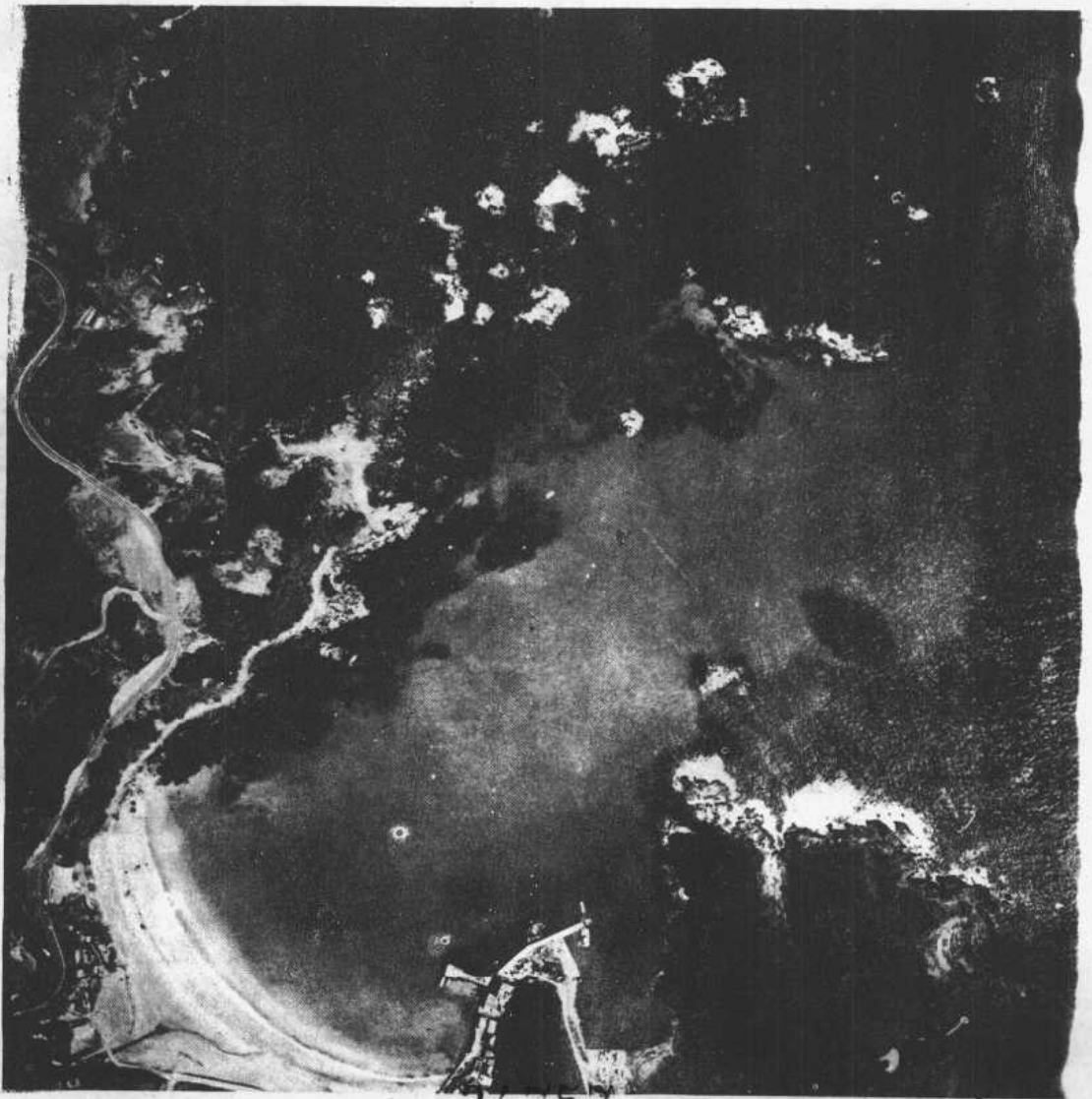
国立衛生試験所環境衛生第1室長

東京水産大学水産学部教授

(1977年3月現在，五十音順)

伊豆下田地区の藻場の経年変動観
察を目的とした、ウォーターヘネ
トレーションカラーフィルムによ
る撮影像

(アジア航測株式会社 提供)



34757



光化学スモッグに襲われた東京都内
(近藤次郎)

ま え が き

環境問題は、いまや理念の段階から具体的な対応の段階に移行している。その環境問題への対応を科学的、工学的に取組み、問題の解決に寄与することをめどとして、過去数年間に幾つかの大学に「環境」に関する新学科が創設され、関連分野についての教育、研究が進められ、社会の要請に応え、人類の福祉に貢献できる人材の育成がなされつつある。まことに喜ばしいことである。

このような情勢に鑑み、環境問題に取り組む学生諸君の教育、研究に資すると共に、実務者の座右の書として、本書「環境工学」の発行が企画されたのである。

本書は、大気、陸水、海洋の三部門にわたる環境工学の基礎的知識を提供すると共に、実践の場にその知識を応用するための役割を果たそうとするものである。

本書の内容は、環境に排出された有害物質の処理の具体的な問題には触れないで、むしろ環境でのこれらの物質の移行を追い、生物圏や産業への悪影響をいかに防ぐかという点に重点をおいたものにすることに努めた。

従って、環境へ放出された物質の行方である、大気、陸水、海洋を中心に取上げた。

即ち、本書は大気環境工学、陸水環境工学、海洋環境工学の三部から構成されている。各部の内容の概略は、それぞれ環境工学総論；分析測定（環境測定法）；汚染の防止、除害（汚染の防除）技術；保全のシステム 工学といった大項目に分類され、各項目を本書発行の企画の趣旨に沿って細分化し、広範にわたる内容を豊富に取り入れ、完璧を期することに努めた。

本書が、関係分野の大方の読者の良き参考資料となり、企画の目的の幾分なりとも叶うことができれば、私にとってこれほど喜ばしいことはない。

本書が世に出ることができたのは、編集者、執筆者各位の並々ならぬ御努力と御協力があったからである。それと共に、講談社サイエンティフィクの武藤

まえがき

修一氏の終始一貫した励ましがあったからである。

ここに記して、これらの方々に衷心より感謝の意を表する。

昭和52年3月13日

ベートーベン「交響曲第7番」(ウィーン・フィルハーモニー管弦楽団
演奏会：NHK劇場)を聴いて 寓居にて

編集者代表 佐々木忠義

I 大 気 編

1 大気環境工学総論	大喜多敏一	1
1.1 大気物質の発生源		1
1.2 大気物質の物理化学		8
1.2.1 大気内における化学反応		9
1.3 大気汚染物質の人体影響		15
1.3.1 二酸化硫黄		16
1.3.2 浮遊粒子状物質		17
1.3.3 一酸化炭素		18
1.3.4 窒素酸化物		19
1.3.5 光化学オキシダント		21
1.4 植物影響		22
1.4.1 二酸化硫黄		22
1.4.2 オゾン		24
1.4.3 フッ化物		24
1.4.4 塩化水素		25
1.4.5 塩素		26
1.5 器物に対する影響		26

目 次

2	分析測定	山手 昇	28
2.1	総論.....		28
2.1.1	大気汚染物質の種類.....		28
2.1.2	測定方法の種類.....		29
2.1.3	試料ガス容積の補正方法と測定値の換算方法.....		30
2.2	環境大気.....		31
2.2.1	試料採取方法.....		31
2.2.2	ガス状物質.....		33
2.2.3	粒子状物質.....		45
2.3	排ガス.....		48
2.3.1	試料採取位置および採取点の選定.....		48
2.3.2	ガス状物質.....		49
2.3.3	ばいじん.....		55
3	大気汚染の防止除害技術	江木弘三 今上一成 鈴木正臣	57
3.1	脱硫.....		57
3.1.1	排煙脱硫.....		57
3.1.2	重油脱硫.....		60
3.1.3	副生硫黄化合物の有効利用.....		64
3.2	集じん装置.....		64
3.3	自動車排気の汚染防止技術.....		66
3.3.1	汚染物質の発生.....		66
3.3.2	汚染物質の発生源.....		70
3.3.3	排気ガスの防止技術.....		72
3.3.4	ブローバイガスの防止技術.....		76
3.3.5	蒸発損失の防止技術.....		76
3.3.6	その他の防止技術.....		76
4	大気保全のシステム工学	近藤次郎	79
4.1	大気拡散モデル.....		79
4.1.1	拡散方程式.....		81
4.1.2	大気の乱れ.....		82
4.1.3	ブルームモデル.....		83
4.1.4	パフモデル.....		84
4.1.5	ボックスモデル.....		85
4.1.6	光化学反応.....		86
4.2	シミュレーション.....		87

4.2.1	固定排出源よりの地区汚染	90
4.2.2	自動車排出ガスによる汚染	91
4.2.3	光化学スモッグの発生	94
4.3	環境アセスメント	96
4.3.1	立地条件	96
4.3.2	総量規制	97
4.3.3	大気汚染防止のシステム工学的アプローチ	98

II 陸 水 編

5	陸水環境工学総論	99
5.1	陸水汚染の現状	小島貞男 99
5.1.1	河川の汚染	99
5.1.2	湖沼、貯水池の汚染(富栄養化)	106
5.1.3	地下水の汚染	110
5.2	陸水の汚染と保全の物理化学	橋本 奨 111
5.2.1	熱力学第1法則と内部エネルギー	111
5.2.2	熱力学第2法則とエントロピー	112
5.2.3	水の循環と利用の本質	113
5.2.4	水の汚染と処理の熱力学	114
5.2.5	陸水中の汚染有機物の分解自浄作用	115
5.2.6	河川の自浄作用	117
5.2.7	河川水の酸素平衡	118
5.2.8	陸水汚染と水の利用・汚染・処理の関係	119
5.2.9	水質汚染の機構とその制御の本質	122
6	陸水環境測定法	桜井善雄 127
6.1	採水	127
6.1.1	採水の場所と時間、時期	128
6.1.2	採水量と試料取り扱い上の注意	128
6.2	陸水の一般的な環境要素の測定・分析法	130
6.2.1	水温	130
6.2.2	透明度と透視度	130
6.2.3	水素イオン濃度 (pH)	131
6.2.4	電気伝導度 (EC)	132
6.2.5	塩素イオン (Cl ⁻)	133
6.2.6	懸濁物質 (SS) および全蒸発残留物	134
6.2.7	溶存酸素 (DO)	135

目 次

6.2.8	生物化学的酸素要求量 (BOD)	136
6.2.9	化学的酸素要求量 (COD)	137
6.2.10	総酸素要求量 (TOD)	137
6.2.11	総有機炭素 (TOC)	138
6.2.12	NおよびP化合物	139
6.2.13	クロロフィル	140
6.2.14	一般細菌	142
6.2.15	大腸菌群細菌	143
6.2.16	生物	144
6.3	流量および湖盆容積	145
6.4	底質	149
7	陸水汚染の防除技術	橋本 奨 151
7.1	今日の下水処理技術とその工程	151
7.2	処理技術の分類	153
7.3	物理化学的処理	153
7.3.1	スクリーン	154
7.3.2	沈砂	155
7.3.3	沈殿	155
7.3.4	浮上	157
7.3.5	汙過	158
7.3.6	凝集	159
7.4	活性汚泥法	160
7.4.1	活性汚泥法のあらまし	160
7.4.2	活性汚泥法の原理	161
7.4.3	曝気	163
7.4.4	処理工程と操作条件	164
7.5	設計操作のパラメーター	167
7.5.1	BOD-SS負荷量	167
7.5.2	汚泥示標	168
7.5.3	曝気時間	170
7.6	活性汚泥の増殖と BOD 除去および酸素移動の動力学	173
7.7	従来の活性汚泥法の問題点とその対策	176
7.8	高濃度活性汚泥法による N, P と難分解性物質の除去	176
7.9	高濃度活性汚泥法の曝気	179
8	陸水保全のシステム工学	柏谷 衛 181
8.1	流域からの汚水の流入	181

8.2 河川の汚濁解析	183
8.2.1 BOD とその減少	183
8.2.2 河川水中での BOD の減少	184
8.2.3 大気中からの酸素の供給	186
8.2.4 計算式	187
8.3 湖沼の汚濁解析	189
8.3.1 湖沼での水収支	189
8.3.2 汚濁のパラメーター	190
8.3.3 湖沼モデルの内部関係	191
8.3.4 モデルの適用例	194
8.4 都市下水の高度処理と再利用	194
8.4.1 高度処理と3次処理	194
8.4.2 再利用とその実例	197

III 海 洋 編

9 海洋環境工学総論	佐々木忠義 有賀 祐勝	203
9.1 海洋汚染の現状		203
9.1.1 海洋の汚染		204
9.1.2 汚染物質と汚染経路		205
9.1.3 日本沿岸域の汚染の状況		207
9.1.4 全地球的規模での汚染		213
9.1.5 水質基準		215
9.2 海洋汚染の物理化学的性状		219
9.2.1 海洋中での汚染物質の動き		219
9.2.2 海水の濁り		222
9.2.3 海洋における油濁		223
9.2.4 海洋への熱の排出		225
9.2.5 海洋の富栄養化		230
9.2.6 汚染物質の濃縮		232
10 海洋環境測定法—無機環境と生物環境—	黒木敏郎	238
10.1 海洋測定の考え方		238
10.2 一般海洋観測測定		240
10.2.1 観測の姿勢		240
10.2.2 観測の方法		240
10.2.3 測器		243
10.3 生物環境の測定		247

目 次

10.3.1	生物的環境	247
10.3.2	生物環境測定の方法と器材	250
10.4	測定結果の処理法	252
11	海洋環境保全技術	254
11.1	温排水	千秋信一 254
11.1.1	温排水問題の現状	254
11.1.2	海域における温排水の拡散予測	257
11.1.3	冷却水の取放水に伴う流動解析と生物影響評価への適用	264
11.1.4	温排水の影響低減化対策	266
11.2	海洋における油類の流出拡散とその防除	食品昭二 269
11.2.1	油類の海洋への流出	270
11.2.2	油の拡散形態とその実験	271
11.2.3	油の拡散についての理論的考察	277
11.2.4	流出油の防除	281
12	海洋環境保全のシステム工学	吉田多摩夫 288
12.1	環境アセスメント	289
12.1.1	環境アセスメント手法の分類	289
12.1.2	海域環境のモデリングとシミュレーション	292
12.2	環境モニタリングシステム	301
12.2.1	リモートセンシングシステムによる海洋環境のモニタリング	302
12.3	データベースシステム	304
	索引	309

I . 大気編

1 大気環境工学総論

1.1 大気物質の発生源

大気中には自然源および人工源より各種の物質が放出されている。大気中の物質が全部解明されるのが望ましいが、たとえばばこの煙だけを考えても現在までに約1,500種類もの成分が見い出されており、今後分析技術が進歩するに伴いその数が増加することが予想される。まして多種多様な発生源から発生する物質をすべて知ることは不可能である。したがって重要な考慮すべき物質としては多量に放出されるもの、人体、植物、動物、器物さらに気候に影響を与えるものがあげられる。また大気物質はガス状物質と粒子状物質（エアロゾル）とに大別される。また発生源より直接排出される一次物質と大気中で生成される二次物質に分類される。

大気を構成している空気中の水蒸気を除いた成分を乾燥空気というが、乾燥空気の成分は窒素 (N_2) 78.09%, 酸素 (O_2) 20.95%, アルゴン (Ar) 0.93% であってこの三者ではほぼ100%を占めている。水蒸気濃度は場所や季節による変化が大きく、熱帯では4%にも達することがあるが、極地では0.1%に満たない。以上の主要成分以外の微量ガスの自然大気中の濃度を表1.1に示した。

表1.1中のヘリウムよりキセノンまでは不活性ガスで、人体などに対する直

I 大気編

表 1.1 自然大気中の微量ガス濃度

ガ	ス	濃度 (ppm)
ヘ	リ ウ ム (He)	5.2
ネ	オ ン (Ne)	18
ク	リ プ ト ン (Kr)	1.1
キ	セ ノ ン (Xe)	0.086
オ	ゾ ン (O ₃)	<0.05
水	素 (H ₂)	0.4~1.0
二	酸 化 炭 素 (CO ₂)	200~400
一	酸 化 炭 素 (CO)	0.01~0.2
メ	タ ン (CH ₄)	1.2~1.5
ホルムアルデヒド	(CH ₃ O)	<0.01
亜	酸 化 窒 素 (N ₂ O)	0.25~0.6
二	酸 化 窒 素 (NO ₂)	<0.003
ア	ン モ ニ ア (NH ₃)	<0.02
硫	化 水 素 (H ₂ S)	0.002~0.02
亜	硫 酸 ガ ス (SO ₂)	<0.02
ヨ	ウ 素 (I ₂)	(0.4~4) × 10 ⁻⁵
ラ	ド ン (Rn)	6 × 10 ⁻¹⁴

接の影響は考えられない。ただし原子力発電所の数がふえるに従い、それより排出される放射性のクリプトン 85 (半減期 10.4 年) の影響が問題となる。オゾンとは太陽光中の波長 255nm 付近の紫外線により酸素分子が解離し ($O_2 + h\nu \rightarrow 2O$)、生成された酸素原子が酸素分子と結合して生ずる ($O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$, M は他の酸素分子や窒素分子で過剰なエネルギーを除去する)。これらのオゾンが高度 30km 付近のオゾン層で生成せられ、それが地上に降下する。オゾンは今日でも有効なガスであると思っている人々が多いが、後述するように人体には有害なガスである。しかしオゾン層はまた太陽光の中で、生物の細胞の DNA などを破壊する有害な紫外線 (波長 300nm 以下) を吸収する重要な役割をしている。最近超音速旅客機 (SST) の排気中の NO やフロンガスの光解離によって生ずる塩素系ガスがオゾンと反応して上空のオゾン濃度を低下させ、その結果地上に到達する紫外線量が増大するために皮膚がんがふえると警告する学者もいる。

二酸化炭素は大気中にも多量に存在し、動物もこれを放出しており、また人体影響を与える濃度には大気中では達しない。むしろ植物にとってはその生育を支配する因子である。したがって二酸化炭素は過去においては化石燃料の燃焼

の指標として用いられたが、現在ではほとんど測定されていない。しかし1900年ごろより平均して大気中の二酸化炭素は増加を続けており（現在では約0.7 ppm/年の割合で増加している）、その気候に対する影響が問題となっている。大気中の二酸化炭素や水蒸気は太陽からの可視光線に対しては透明であるが、地表面より放出されている赤外線はよく吸収する。したがって地表面より赤外線の形で虚空に逃げ去る熱をひきとめる役割（温室のガラスと同じ作用なので温室効果といわれている）をしているので、二酸化炭素が増加すればそれだけ地表付近の気温が上昇するものと予想されている。

表1.1のメタンより硫化水素までは土壌中の有機物の腐敗分解によって生じるものであって、その地球上の総発生量は人間の活動によって生じるものの数十倍以上であるといわれている。

自然大気中の二酸化硫黄（ SO_2 ）としては直接火山より放出されるものや、大気中の硫化水素や硫化メチルの酸化したものが予想される。ヨウ素は海面より放出されているガスであり、ラドンはラジウムが壊変するときに見える放射性ガスである。

大気中には以上のガス成分のほか自然の作用で生ずる各種の粒子、たとえば海水のしぶきが上空に舞い上がった海塩粒子、花粉、土壌粒子、孢子などが存在する。ある種の花粉はぜんそく（喘息）などを引き起こすし、砂ぼこりもひどいときには呼吸器疾患の原因となる。なお大気中に土壌粒子が増加したのは、人間が農耕牧畜のために森林を改変し、そのために半砂漠化した土地からの土壌粒子の舞い上がりがふえたのだと考えられる。また火山の爆発により成層圏まで舞い上がった灰は、日射をさえぎり、気候の寒冷化を招くことがクラカトア火山の爆発などの例で知られている。

人工源より発生する重要な汚染物をいくつかの表に示した。表1.2は現在環境基準が設定されたか、設定されようとしている物質の発生源である。表1.3はおもな悪臭物質とその発生源である。わが国の悪臭防止法では、いくつかの代表物質を選び、その物質の発生源の境界線における濃度でもって規制している。この方法は他の国ではみられない独特のものであって、少数の物質でもって悪臭の取締りができるかという疑問も当然投げかけられる。

嗅覚は光や音の感覚よりもはるかに複雑である。まずにおいの感覚はその性