

都市環境整備研究報告 9—(1)

都市化にともなう自然環境の変化と  
その変化がもたらす諸問題

中野 尊正	田治米辰雄	丸井 信雄
湯浅 欽史	望月 利男	門村 浩
松田 磐余	田村 俊和	矢田 恒晴

東京都立大学  
都市研究委員会  
1971.3

# 目 次

	頁
まえがき .....	1
<b>第1章 (執筆 門村 浩)</b>	
都市化に伴う自然環境の変化と災害との関連性に関する一般的考察	
1. ま え が き .....	1- 1
2. 都市化に伴う自然環境の変化	
2-1. 都市化のとらえ方 .....	1- 2
2-2. 環境変化の基本的パターン .....	1- 5
3. 自然環境の変化と災害との関連性	
3-1. 都市化と災害との関連性のとらえ方 .....	1- 8
3-2. 自然環境の変化による災害ポテンシアルの変化とその顕在化 .....	1- 8
4. む す び .....	1-11
参 考 文 献 .....	1-12
<b>第2章 (執筆 中野尊正)</b>	
地盤沈下の地域性と海面下の土地の拡大ならびにそれらに関連する若干の問題点	
1. ま え が き .....	2- 1
2. 地下水利用に関連する問題点	
2-1. 水溶性天然ガスの採取とそれに関連する若干の問題 .....	2- 2
2-2. 地下水の揚水規制地域における問題点 .....	2- 4
2-3. 地下水の揚水規制の行なわれていない地域における問題点 .....	2- 6
2-4. 地下水の塩水化 .....	2- 8
3. 地盤沈下の地域性・海面下の土地の拡大・水害の変質の相互関連 .....	2-13
4. 地震水害の危険性の増大・広域化 .....	2-16
5. 高知ゼロメートル地帯 .....	2-17
—— 中小都市における問題発生の一例として ——	
参 考 文 献 .....	2-26

### 第3章 (執筆 田治米辰雄・湯浅欽治・望月利男)

#### 東京下町における構造物の耐震問題

1. 構造物の地震被害と地盤との関係について ..... 3- 1
2. 東京下町地盤の北震時の特性について
  - 2-1. 周期特性と増巾特性 ..... 3- 3
  - 2-2. 沖積砂質土、粘性土の振動性状 ..... 3- 5
3. 東京下町における構造物の振動特性について
  - 3-1. レスポンススペクトルの解析 ..... 3- 6
  - 3-2. 地盤・杭・建物連成系の振動特性について ..... 3- 7
  - 3-3. 杭に生ずる地震時応力分布 ..... 3- 8
4. 地下埋設管の問題点とその対策について
  - 4-1. 現行設計法の基本的問題点 ..... 3- 9
  - 4-2. 変形条件に関する問題 ..... 3- 9
  - 4-3. 軸方向の問題 ..... 3-10
  - 4-4. 当面の対策 ..... 3-11
    - (1) 埋設の可否 ..... 3-11
    - (2) 導洞方式の採用 ..... 3-11
    - (3) 設計と施工の一体化 ..... 3-11
5. 東京下町における構造物の耐震設計に関する若干の考察
  - 5-1. 耐震工学的見地からの地階の意義 ..... 3-12
  - 5-2. 地盤変動に対する構造計画 ..... 3-13
6. ま と め ..... 3-14

### 第4章 河川の都市河川化 (執筆 中野尊正・矢田恒晴)

1. ま え が き ..... 4- 1
2. 開発にともなう水文環境の変化 ..... 4- 2
 

—— 鶴見川流域の例 ——

  - 2-1. 都市化の進展と人口の増加 ..... 4- 2

	頁
2-2. 河川の性状と変化 .....	4-3
(1) 水量の変化 .....	4-3
(2) 水質の変化 .....	4-4
㊸ 水質の縦断変化 .....	4-4
㊹ 都市化と水質との関係 .....	4-4
2-3 農業公害から地域公害へ .....	4-5
(1) 農業公害 .....	4-5
(2) 地下水の利用増大と地盤の沈下 .....	4-6
2-4. あとがき .....	4-7
3. 江東三角地帯の内部河川についての考え方 .....	4-8
参 考 文 献 .....	4-13

## 第5章 (執筆 門村 浩)

台地地域における崖地利用の変化に伴う若干の問題と崩壊危険地域の予測

1. ま え が き .....	5-1
2. 崖地利用の変化とそれに伴う若干の問題 .....	5-2
3. 山手台地における崖・擁壁の崩壊危険地域	
3-1. 崩壊危険地域の予測の方法 .....	5-4
(1) 遠観的予測法 .....	5-4
(2) 判別解析による予測法 .....	5-5
(3) 判別解析の手順 .....	5-7
(4) 判別解析による崖・擁壁の崩壊危険度の予測 .....	5-9
3-2. 危険崖・擁壁の分布と危険地域 .....	5-11
3-3. 降雨との関係 .....	5-12
4. む す び — 残された課題 — .....	5-14
参 考 文 献 .....	5-15

## 第6章 今後の課題 (執筆 中野 尊正)

1. 都市化による自然システムの変化 .....	6-1
--------------------------	-----

	頁
2. 都市における自然災害、自然的公害の発生機構 .....	6- 3
3. 人間にとって自然、自然環境とは何か .....	6- 4
あ と が き (執筆 中野尊正) .....	6- 5

# 図 表 目 次

	頁
図 1 - 1 都市化に伴う自然のシステムの変化とその災害へのつながり(試案)	1-15
図 1 - 2 臨海軟弱地盤地域における地盤沈下に伴う環境変化と災害との関連性 ——東京下町低地の場合	1-16
図 2 - 1 葛南地域の主要水準点標高の経年変化	2-28
図 2 - 2 船橋地区における沈下にあらわれた天然ガス井の影響圏	
A 沈下量からみた影響圏	2-29
B 断面位置および影響圏	2-30
図 2 - 3 東京および周辺地域の地下水揚水規制区域(1971年4月現在)	
A 工業用地下水揚水規制区域	2-31
B 建築物用地下水揚水規制区域	2-32
図 2 - 4 東京付近の東西断面でみた揚水量・揚水深度・揚水規制範囲と地盤沈下量	
A 単位面積あたり日揚水量	2-33
B 深度別単位面積あたり日揚水量および揚水規制範囲	2-33
C 地盤沈下量	2-33
図 2 - 5 東京低地とその周辺地域の地盤沈下中心地域(100mm/年以上沈下地域)の変遷	
A 1961年以前	2-34
B 1966年以降	2-35
図 2 - 6 江東デルタ地区の地震水害の想定	
A 欠口した場合	2-36
B パイピングの場合	2-37
図 2 - 7 南海地震による地盤変動量	2-38
図 2 - 8 高知市付近の地下水の塩素イオン量	2-39
図 2 - 9 断面位置および観測井の位置	2-40

	頁
図 2 - 1 0 帯水層別の塩水化の状況 .....	2-41
図 2 - 1 1 熔岩層下限の示す起伏と塩水化の拡大 .....	2-42
図 2 - 1 2 岳南地域の水使用量の変遷 .....	2-43
図 2 - 1 3 岳南地域の工業用水の使用量とその水源別割合 .....	2-44
図 2 - 1 4 東京低地とその周辺地域の 0メートル地域の拡大 .....	2-45
図 2 - 1 5 東京低地東部の洪水水理の変化 .....	2-46
図 2 - 1 6 東京湾に予想される津波の波高 .....	2-47
図 2 - 1 7 高知平野の基盤等深線図 .....	2-48
図 2 - 1 8 高知平野の沖積層基底等高線図 .....	2-49
図 2 - 1 9 高知平野の地質断面(京西方向) .....	2-50
図 2 - 2 0 高知平野の地質断面(南北方向) .....	2-51
図 2 - 2 1 高知平野の地形分類図 .....	2-52
図 4 - 1 鶴見川流域概念図 .....	4-14
図 4 - 2 鶴見川流域の人口密度(1965. 10) .....	4-15
図 4 - 3 " (1969. 10) .....	4-16
図 4 - 4 各流域の人口の増加 .....	4-17
図 4 - 5 流量に占める人為的排水量の割合 .....	4-17
図 4 - 6 各流域における水質と人口数の関係	
A C O D .....	4-18
B B O D .....	4-18
C A B S .....	4-19
D D O .....	4-19
E N H <sub>4</sub> - N .....	4-20
F C l <sup>-</sup> .....	4-20
G S O <sub>4</sub> <sup>2-</sup> .....	4-21
H T H d .....	4-21
図 4 - 7 各流域における水質と人口密度の関係	

	頁
A C O D .....	4-22
B B O D .....	4-22
C A B B .....	4-23
D D O .....	4-23
E N H <sub>4</sub> - N .....	4-24
F C l <sup>-</sup> .....	4-24
G S O <sub>4</sub> .....	4-25
H T H d .....	4-25
図 4 - 8 鶴見川流域の水質汚濁による農地の被害 .....	4-26
図 5 - 1 山の手台地における崖の人工改変地の分布 .....	5-17
図 5 - 2 判別値の共存範囲 .....	5-18
図 5 - 3 判別解析による危険度大の崖件数の分布 .....	5-19
図 5 - 4 判別解析による危険度大の擁壁件数の分布 .....	5-20
図 5 - 5 判別解析による危険度大および中の崖、擁壁の分布からみた危険 地域と要注意地域 .....	5-21
図 5 - 6 22号台風(1959)による崩壊崖、擁壁件数の分布 .....	5-22
表 2 - 1 葛南地域の水溶性天然ガス採取会社(1970年現在) .....	2-53
表 2 - 2 船橋市の地区別用途別日揚水量(1970年4月現在) .....	2-54
表 2 - 3 船橋地区用途別主要揚水深度 .....	2-53
表 2 - 4 船橋および浦安地区の観測井における層別収縮量 .....	2-55
表 2 - 5 船橋・市川地区の主要水準点の経年変動 .....	2-56
表 2 - 6 船橋地区における1970年2月1日~8月1日間の変動量の 大きな水準点 .....	2-57
表 2 - 7 船橋地区における天然ガス採取自主規制内容 .....	2-57
表 2 - 8 新潟における天然ガス業者の規制内容 .....	2-58

表2-9	東京低地の深度別揚水量	2-58
表2-10	江京デルタ地区の護岸の倒壊延長とパイピング孔数	2-59
表2-11	東京低地の用途別日揚水量	2-60
表2-12	足立区および葛飾区の工場用井戸のさく井年次とその日揚水量	2-61
表2-13	高知市における1970年10号台風による被害	2-62 2-63
表2-14	高知市付近低地部の水準点の変動量	2-64
表2-15	東京低地の0メートル地帯の拡大	2-64
表2-16	高知市における農地の水準点の変動	2-65
表4-1	江京デルタ内の水門を通過した船・筏の隻数	4-27
表5-1	判別効率の順位づけ(崖)	5-23
表5-2	判別効率の順位づけ(擁壁)	5-23
表5-3	判別値の平均値	5-24
表5-4	崩壊履歴と判別結果の比較	5-24
表5-5	崖・擁壁の崩壊危険度判別結果の一覧表	5-25
表5-6	斜面物質の移動と有効積算雨量(2時間)	5-26
表5-7	東京における1時間雨量の極値とその再現期間値	5-26
表6-1	災害の分類	6-7

## 都市化にともなり自然環境の変化 と、その変化がもたらす諸問題

### まえがき

昭和43年いらいの3ヶ年計画の都市研究において、東京およびその周辺における実態調査、文献調査などによって、都市化の進行にともなり自然環境とその変化がもたらす諸問題のうち、土地と水の問題を追究し、具体的な研究対象地域としては、東京下町の低地帯、山の手台地帯、鶴見川流域をどりあげ、軟弱地盤地域の地震災害、地震水害、地盤沈下、崖の宅地化などの利用にともなり崖くずれ災害、高潮・大河川・中小河川水害、下町の内部河川問題、鶴見川その他の河川の都市河川化の問題など、多岐にわたるテーマの研究をおこなった。研究者は土木、建築、地理の三分野にまたがっている。

この研究は、都市を中心にすえて考えることを意図したものであるから、それぞれの専門分野の技術的自然科学的研究というべきものではない。専門分野からみれば、あるいは異端的なものではあろう。だが、都市の自然環境の研究という点では、今後大いにその研究方法論ならびにそれにもとづく実証的研究を要請される分野であると確信している。

この研究を展開する過程において、研究者の一人中野は、東京都防災会議専門委員として、東京の現実的な問題について研究する機会があった。この機会は、東京を含む都市の自然環境をめぐる諸問題の研究が、きわめて困難な諸問題をかかえていることを知るうえにおいてきわめて有益であった。事実を知ることさえ時に困難であるし、知りえた事実に対する計画理論の樹立まで立入らなければ、研究は完結したとはいえない。現象の総合性、複合性を解く方法論を確立しなければ、事実を正しく認識することさえできない。

しかし幸いにして、数多くの専門分野からの個別的な研究成果を入手利用できたので、ある面についてはかなりまとまった考え方を整理することができたと考えている。またこのことを通じて、都市の自然環境の研究が、多くの専門

をことにするスペシャリストの共同によってはじめて可能になることも判明した。この点は、今後の研究展開のうえできわめて重要な意味をもつものと考えている。

この研究の進行とほぼ同じ期間に、土木学会のメンバーを中心に、社会科学、医学、土木学、建築学などの専門家と共同研究をするため21世紀の日本の国土像に関する研究は、日本列島全体の都市化がすすむなかで、自然環境をどのように考えるべきかについて多くのことを学ぶことができた。とくに、1970年になってから、「公害」が社会問題化していらい、社会学者や医学、工業技術関係の研究者の考え方を学ぶことができ、本研究報告のとりまとめについても参考にすることができた。

この研究の進行にあたって、東京都の多くの部局、区役所、横浜市役所、千葉県庁関係部局などに直接間接にお世話になった。記して謝辞としたい。

## 第 1 章

# 都市化に伴う自然環境 の変化と災害との関連 性に関する一般的考察

### 1. ま え が き

最近の急激な都市化の進展に伴って、都市域、とくにその周辺の新しい都市化地域では中小河川洪水・内水災害・がけくずれなどの自然災害が激増している。一方、既成の過密都市域の内部においても、東京や大阪・名古屋の下町低地に例をみるように、工業用・建築物用の地下水の過剰揚水に起因する地盤沈下が進行して自然環境が悪化し、高潮・洪水・地震などによる災害の脅威にさらされているところが少なくない。

こうした都市における自然災害の頻発化・激化の傾向は、防災的配慮を欠いた無計画な人口と施設の集積とともに、都市化に伴う、あるいは都市における生活と生産に伴う自然環境の人為的改変に負うところが大きいのである。「公害」という名でよばれる産業廃棄物など有害化学物質による大気と水と土の汚染現象についても、同じようなことがいえる。こうした環境の汚染現象は、都市化・工業化の進展とともに、急速に広域化・日常化し、人間の健康と生命に対して直接的な影響を及ぼしている。

都市化・工業化に伴って生ずる諸問題は、自然災害にしろ、「公害」にしろ、自然のシステムに対する干渉の結果として起こっている。それは、自然のシステムの中で複雑なフィードバックをくりかえしながら行なわれているさまざまな物質の循環への干渉によって生ずる。都市が立地し、工業が立地している空間も、巨大な自然のシステムの一部である。社会経済的所産である都市といえども、自然のシステムとまったく無関係ではないのである。

自然のシステムは、人間の環境として意識するとしなやかにかわらず、それ自体存在し、かつ自律的に変化を続けている。自然それ自体をシステム的にとらえることは、自然のしくみを明らかにし、都市化を含む人為による

自然の変化とその影響を明確にしていく出発点になると考えられる。人間の環境として認識される自然は、実は、こうして把握される自然そのものである。

ところで、自然そのものをシステム的に把握するにしても、最小限の視点を用意することは必要であろう。ここでは、人間の生活・生産のよりどころとして重要な役割を果たしている「土地」という形で、トータルとしての自然をとらえることにしたい。「土地」は、地表を中心とした三次元的空間であり、水平的ひろがりとともに、大気下層部から地殻表層部に至る垂直的ひろがりをもっている。それは、狭義の土地（地形・地質—岩石・土または岩盤・地盤・土質）、水（地表水—河川・湖沼、地下水—不在水・被在水）大気、生物（植物・動物）からなる有機的複合体である。これらの諸要素の間には、エネルギーと物質の循環が行なわれ、これらの循環のパターンの特性的に応じて、地域的にまとまった空間的ひろがりをもつ「土地」が形成されている。（図1参照）

この章では、こうした「土地」が、都市化に伴ってどのように変化し、かつその変化が自然災害や「公害」とどのような形でつながるかを追求することを主題としたい。そのためまず、「土地」という形でとらえられる自然環境の都市化に伴う変化の基本的パターンを明らかにし、ついで環境の変化と災害との関連性について若干の考察を試みることにしたい。

## 2. 都市化に伴う自然環境の変化

### 2-1 都市化のとらえ方

農山村域の都市化に伴い、また都市における生活・生産活動の活発化に伴って、自然環境はどのように変わるのだろうか。とくに、災害の発生に関与する環境条件はどのように変化するのだろうか。この間に答えるためには、まず、都市化の実態を災害との関連性をふまえて明確にしておくことが必要であろう。

都市化の概念については、社会学や地理学など多くの分野で多くの定

義が与えられているが、いまだ統一的な見解をみるには至っていない。

ここでは、都市化による自然環境の変化の基本的パターンを追求する前提として、都市的土地利用と農山村的土地利用あるいは農林業的土地利用との差異に着目し、その中から都市化の定義を導き出すことにしたい。

農山村的土地利用と都市的土地利用とでは、「土地」とのかかわりに本質的なちがひがある。第1に、都市的土地利用の主体は、人工施設による地表面の占居である。これは、都市的土地利用の最大の特徴であり、生物資源の生産が中心である農山村的土地利用とは、著しく異なった土地利用形態である。人工施設も、森林や田畑の栽培植物と同じように、地表面をよりどころとして立地している。しかし、人工施設は、樹木や草本などの生物とはちがって、自然のシステムの中で行なわれているエネルギーや物質の循環の直接の恩恵を受けなくても存立し得る。

一方、農山村的土地利用では、自然のシステムを直接利用し、自然のシステムに強く依存して生産が行なわれるのが本来の姿である。農林業においても、土地改良・品種改良・促成栽培・農業の使用などによる自然の改変がなされているが、自然のシステムへの依存度は依然としてきわめて高い。これに対して、都市では、住宅にしる、工場にしる、自然のシステムへの依存度はさわめて低い。最近における住宅や工場の立地にあたって考慮されている自然的立地条件は、高々、土地のスペースと地盤条件にすぎないのである。水は水源さえ確保できれば、パイプラインで供給することができるので、立地条件としての地位が低下しつつある。

都市における諸施設の立地条件を強く規制している因子は、いままでもなく、経済性・利便性などの社会経済的条件である。このことは、人工施設を自然のシステムと断絶した形で都市域に集積させ、施設の建設それ自身により、また施設を利用しての生活と生産の活動により、自然災害や「公害」を招来している最大の要因でもある。

都市的土地利用の第2の特徴は、大型ないし長大で重量の大きい施設

が連担して、密集した市街地や住宅地域・工業地域などを形成することである。これは、都市における景観の著しい特徴である。また、都市的施設の立地にあって、平坦なスペースの確保と地耐力のある地盤を必要とする理由でもある。都市における生活と生産は、さまざまな機能をもつ施設をよりどころとして行なわれている。都市的諸施設の機能は、人為的な物質とエネルギーの代謝によって維持されている。これは、都市的土地利用の第3の特徴であり、都市における生活も生産も、物質とエネルギーの施設を利用した運搬・供給・処理なくしては存立し得ない。

交通・情報・流通施設、電力・水・ガスの供給施設、廃棄物の処理施設などが、生活と生産に必要な物質とエネルギーの代謝を支える主要な施設である。これらは、連担した都市的諸施設を有機的につなぐだけでなく、その都市に関連する諸地域との連繫を保ちつつ、都市全体としての機能を維持するうえで、重要な役割を担っている。都市機能のマヒは、こうした諸施設が自然災害などにより、急激にかつ広域的に破壊されたときに生ずる。

都市的土地利用の第4の特徴は、人工施設による地表面の占居の過程において、また施設を利用しての生活と生産の過程において、自然環境の著しい改変を伴うことである。改変の程度は、人工施設が高密度に、かつ広域にわたって集積している大都市ほど著しい傾向がある。また、科学技術が進歩するほど、生活と生産が高度化するほど、改変の程度は加速度的に大きくなる。農山村地域においても、森林経営や耕作・放牧などのために、自然環境は多少とも人為的に改変されている。しかし、改変の程度は、都市域ほど著しくはない。

上述の都市的土地利用の特徴からみれば、都市とは、「さまざまな機能をもつ人工施設が高密度に集積している地域であり、かつ自然環境が著しく改変されている地域である」ということができる。しかし、この定義は都市で生活し、生産、消費する人間の入れ物として、いわば

景観的に都市を定義したにすぎない。住宅にしる、生産施設にしる、輸送施設にしる、多くの都市的施設の中身は人間である。人間を中心においてうえの定義をいいかえると、都市とは、「人口が集中し、その日常的な行動のはげしい地域である」ということができる。このことは、個々の人間のレベルあるいは人間集団のレベルで自然災害や「公害」の被害を考えると、十分に考慮されなければならないことである。

一方、都市化は、「地表面の施設による占居とそれに伴う自然環境の改変の過程である」ということができる。それは、地表面の施設による占居を中心とした生活・生産空間の拡大と高密度化とにほかならない。それはまた、「土地」の建設工学技術による改変——技術化と施設化の過程でもある。こうした都市化のとらえ方は、人為による自然環境の変化を体系的に把握するための足がかりを与えると考えられる。この考え方は、農山村地域における農林工学技術的改変や、山岳地域における交通施設や観光・リクレーション施設の建設に伴う自然環境の変化について検討を加えるときの基礎にもなる。

## 2-2 環境変化の基本的パターン

「土地」の技術化・施設化による改変は、さまざまな様式と強度で行なわれている。その程度は、開発の規模や施設の用途・機能、個々の施設が必要とする空間の大きさなどによっても異なるし、起伏・傾斜など地表面の形態的差異や開発が行なわれる直前の地表の被覆状況（とくに植生）など、「土地」に固有の性状によっても異なる。しかし、農山村の土地利用から都市的土地利用への移行に伴う基本的な改変の行為として、つぎのことを指摘できる。それは、建設工学技術による自然の地形と土の、掘削・切土・盛土・埋立てなどによる改変であり、地表をおおう森林・草地などの自然植生、田畑の栽培植物の人工施設への置換である。これらは、都市化による環境の基本的な改変行為として、どのようなケースにも適用できる。また、こうした改変の結果の多くは可視的

であり、景観の変化として明瞭にとらえることができる。

しかし、都市化によって変わるのは、景観だけではない。景観が変わったことは、一般に、その地域の自然のシステムを構成している多くの要素と、各要素間の相互作用を基調として行なわれているエネルギーや物質の循環過程にも変化のあることを意味する。たとえば、丘陵地域における自然植生の伐採、掘削・切土・盛土・埋立てによる地表形態の改変により、また地表の施設による被覆により、降雨一流出システムを中心に水文学的循環に変化が生ずる。しかも、その変化はそれ自身の変化にとどまらず、これを媒体として行なわれている、侵蝕—運搬—堆積といった地学的物質の循環過程をも変化せしめる。

大型の土工機械による地表の改変の速さは、自然の営力による変化に比較して著しく速い。また、こうした建設工学技術による地表の改変は、流水の営力による侵蝕—運搬—堆積といった地表の平坦化の方向とは、著しくおもむきを異にしている。技術による地表の改変は、明らかに、地学的物質の循環に対する干渉であり、その遮断でもある。こうした干渉や遮断は、前述のように、降雨一流出を中心とした流域の水文学的循環にも及び、植生の除去などとあいまって、斜面や地盤の不安定化を招く。

水や大気の循環に変化をもたらすのは、自然の地形と土の変化だけではない。植生や栽培植物に代って新たに地表を占居するようになったさまざまな施設もまた、水文学的循環にとどまらず、地表付近における大気の運動にも影響を及ぼす。超高層ビルの建設に伴う地上風系の乱れは、こうした典型例のひとつである。

うえに指摘した現象の変化は、「土地」空間が技術化・施設化されることによって生ずるものである。いわば“もの”がそこにある、ということによって生ずる変化である。しかし、都市化によって変わるのは、改変され、施設によって占居される空間だけではない。ある循環系の一

部で生ずる環境変化の影響は、大気と水の運動それ自身により、また大気と水の循環を媒体とする物質の移動によって、広くその系の全域にわたってあらわれる傾向がある。超高層ビルの周辺における地上風系の乱れや、上流地域における開発が下流地域へ及ぼす影響などが、そうした代表的な例である。後者の場合、上流地域の開発によって生ずる流出機構の変化や、地学的物質の循環への干渉は、はるか下流の地域に対しても、土砂の流出とそれに伴う河床の変動、洪水波の伝播速度の変化などの形で影響を及ぼしている。

循環系の全領域にわたる急激な環境の変化は、都市における施設を利用しての生活と生産の過程で生ずる。こうした環境の変化は、大気と水の汚染現象に典型的にみられる。地盤沈下とそれに基因する環境の変化は、工業用、建築用地下水や水溶性天然ガスの過剰揚水という地下水の循環への干渉によって起こる。揚水による水圧低下→土層の圧密収縮→地盤高低下は、地盤構造と地下水の賦存状態の地域性に対応して、広域にわたって継続的に進行する。

以上のように、都市化に伴う自然環境の変化は、単に「土地」の技術化、施設化の段階で一時的にあらわれるだけでなく長期にわたって継続的に進行するのである。しかも、その変化は、直接手の加えられた環境要素から他の要素へと、自然のシステムを構成している多種多様な要素に対して連鎖的に波及していく。と同時に、変化の影響は広域にわたって波及する。このことは、自然のシステムがシームレスな有機的複合体であることを端的に物語っている。

都市化に伴って改変された「土地」と空間を占める施設はともに、自然のシステムの新たな構成員として、既存の環境要素とその連鎖系を変化させつつ、新しいシステムをつくるものとして把握されるべきであろう。こうした観点から、都市化に伴う自然環境の全領域にわたる変化の基本的パターンについて、図1-1に示すように整理して示すことが

できる。この図では、自然災害とのつながりに重点をおいて、自然のシステムの変化を降雨—流出、地盤—地下水、地盤—振動、土砂—水、下層大気—地表面態の5つのサブシステムの変化としてとらえてある。こうしたとらえ方は、都市化によって改変される対象と改変のプロセスを明確にするうえでも妥当であろう。

### 3. 自然環境の変化と災害との関連性

#### 3-1. 都市化と災害との関連性のとらえ方

都市化と災害、とくに自然災害との関係は、2つの側面からとりあげることができる。そのひとつは、自然災害の危険地域への、潜在的被害主体たる人間と施設の接近と集積という視点からのアプローチである。最近の急激な都市化により、従来は洪水や地震災害・崩壊・地すべりなどの危険地域として、接近が保留されていた地域の宅地化などによる開発がすすめられている現象は、日本の多くの都市の周辺部で見られる。新しい都市化地域で自然災害が頻発している原因の一端が、こうした災害危険地域への被害主体の集積に求められることは確かである。

しかしながら、こうしたアプローチからだけでは、都市化と自然災害との関連性を十分に説明しつくすことはできない。そこで、別のアプローチが必要となる。それは、都市化に伴う、あるいは都市における生活と生産に伴う自然環境の変化により、その地域が内在する災害のポテンシャルがどのように変化するかを明らかにしつつ、都市化と自然災害との関連性を追求する立場からのものである。ここでは、こうした立場から、前述した都市化に伴う自然環境の変化の基本的パターンの自然災害へのつながりについて、若干の考察を加えておきたい。

#### 3-2 自然環境の変化による災害ポテンシャルの変化とその顕在化

都市化に伴う自然環境の変化と災害、とくに自然災害との因果関係については、まだ未知の部分が多い。とくに、両者の関係を量的に説明し

うるデータはきわめて少ない。しかし、前述した都市化に伴う自然環境の変化のプロセスの、自然災害へのつながりについては、ある程度まで明らかにすることが可能である。また、自然のシステムの連鎖的变化を足がかりとして、近い将来、顕在化するであろう災害について演繹的に知ることも可能である。

都市化に伴う自然環境の全領域にわたる変化が、直接間接にかかわりをもつと考えられる災害の種類と、それらの発生機構のあらましを、図1-1に示しておいた。図の左側にアウトプットされるのが「公害」という名でよばれる環境汚染であり、右側にアウトプットされるのが自然災害である。ここで自然災害とは、豪雨・暴風・高潮・洪水・破壊的地震などの破壊力の大きい異常な自然現象が直接の加害要因となって発生する災害をいう。ただし、都市化に伴う自然環境の変化が関与して生ずる災害を対象とするから、災害のメカニズムの中で人為的要因が占める役割は大きいといわなければならない。

産業廃棄物などによる環境汚染の現象と、それによる人間の人体に対する障害は、日常的レベルで顕在化しつつ進行する。それはいわば、環境の日常的な破壊現象である。これに対して、自然災害は、長い間隔をおいて生起する異常な自然現象によって生ずるから、非日常的レベルでの環境の破壊現象である。したがって、環境の変化と自然災害との関係は、異常な自然現象の発現によって災害が発生してはじめて認識されるのが常である。

それは、図1-1に示すように、自然災害の発生に関与する環境条件の変化の多くが非可視的であることにもよる。たとえば、地盤沈下の進行に伴う環境条件の変化の多くは非可視的であり、地盤高の低下も精密な水準測量のくりかえしによらなければ把握できない。したがって、地盤沈下の進行によって環境条件が連鎖的、継続的に悪化していったとしても、異常な自然現象の地域へのインプットによる災害を対象とするかぎり、その災害との関連性は、遅延的・断続的にしか認識されない。

しかしながら、問題とすべきは、異常な自然現象の発現に先立って、自然環境の改変により増大され、蓄積される災害のポテンシャルである。ある地域の空間を占める「土地」は、それぞれの自然的特性に応じた災害ポテンシャルを内在している。それは、豪雨でくずれやすい、洪水を受けやすい、地震波動を増幅しやすい、脱水による圧密収縮を起こしやすい、などその「土地」に固有の属性によって決められているものである。

問題なのは、自然のシステムの中で自律的に形成されてきた災害ポテンシャルが、あるいは災害の潜在的危険度が、都市化に伴う自然環境の変化によって、どのように増大し、かつ顕在化して災害をもたらすかである。崩壊・地すべりや洪水の常習地帯、軟弱地盤の地域など、その地域の自然的特性からみて、もともと災害ポテンシャルの大きい地域への、防災対策を欠いた都市の拡大は、被害主体の接近と集積という観点からみても、明らかに、災害の潜在的危険度を増大させる。

しかし、もっと重要なのは、こうした地域の都市化に伴う自然環境の変化によって引き起こされる、潜在的危険度のよりいっそうの増大であり、その顕在化である。人間と施設とは、災害の潜在的被害主体として、災害の発生機構の中に位置づけられるだけではない。それらは、「土地」の技術化・施設化に伴う環境条件の連鎖的変化のプロセスを通して、災害の素因として、ときには加害要因としての役割を担いつつ、災害のポテンシャルを高めるのである。

図1-1に示す5つの自然のサブシステムは、技術化・施設化された「土地」と、潜在的被害主体たる施設群と人間集団とを包含して、図の右半部に示すようなプロセスを経て自然災害の顕在化につながるものと考えられる。たとえば、都市化と中小河川災害・内水災害の関連性については、次のようなプロセスが考えられる。

都市化による降雨-流出システムに係る環境条件の変化は、不浸透域の増大、表面粗度と湛水域の減小などの形であらわれる。

その結果、流域に集中豪雨があると、流出率の増大・洪水流下速度の増加・ピーク流量の増大などのため、流域内低地における水害の危険度が高まり、それはしばしば顕在化するようになる。

都市化・工業化に伴う自然環境の変化がもたらす諸問題のうち、地盤沈下ほど自然のシステムの多くの領域にわたって連鎖的かつ継続的な変化を与え、しかも多種多様な「公害」・自然災害をもたらすものはないであろう。この問題については、第2章で詳しく述べられているから、ここでは従来<sup>1)</sup>の知見を整理して、地盤沈下の「公害」・自然災害へのつながりをフローダイアグラムの形で提示するにとどめたい。

図1-2は、図1-1に示した地盤-地下水システムの変化のプロセスとその災害へのつながりを、東京下町低地の場合を例にとって詳しく示したものである。この図のねらいは、地盤沈下による環境条件の変化のプロセスとその地震災害や高潮・河川洪水・内水氾濫による水害の発生に対する役割を明確に示すことにある。と同時に、防災対策はフローダイアグラムのいくつかのプロセスで考えることができるが、地盤沈下の完全防止が低地防災の要であることを示している。

#### 4. む す び

この章では、都市化を土地利用の変化に伴う「土地」の技術化・施設化による改変としてとらえ、それによる自然のシステムの変化の災害へのつながりについて、自然災害の場合を中心に若干の考察を行なった。しかし、まだ不十分なところが多い。とくに、自然のシステムの変化のプロセスの詳細な分析と、その災害との関係に関する量的な検討は、今後に残された大きな課題である。また、自然災害と環境汚染とは、ある面で共通の側面をもち、かつ相互に関連する現象もあると考えられるが、この点についての検討も行ない得なかった。これについても稿を改めて論及したい。

この研究にあたっては、中野尊正、貝塚爽平、渡辺良雄、前島郁雄から有

益な意見を得、また松田磐余、田村俊和の協力を得た、ここに謝意を表す。

(門村 浩)

## 参 考 文 献

- 半谷高久、安部喜也(1966)：社会地球化学、紀伊国屋新書、(紀伊国屋書店、202P.)
- 畠山久尙編(1966)：気象災害、共立出版、446P.
- 本間義人(1970)：危険な都市、三一新書、三一書房、252P.
- 稻見悦治(1964)：都市災害論序説、古今書院、216P.
- (1970)：都市化と自然災害、第7回災害科学総合シンポジウム論文集、191-195P.
- 門村 浩(1969)：地形と土地利用、応用地形学(西村嘉助編)、大明堂、45-60P.
- (印刷中)：低地都市の災害、都市の自然環境(中野尊正編)、鹿島出版会
- (印刷中)：災害の防止と予測、地域の開発と環境保全(西村嘉助編)大明堂、
- 角屋 睦(1970)：流域の都市化と内水問題、第7回災害科学総合シンポジウム論文集、207-210P.
- 菊地光秋(1960)：狩野川台風による東京西郊の水害の性格、地理評、33、184-189P.
- 木野義人(1969)：シラス地域の豪雨災害—44年梅雨前線豪雨に関連して、地質ニュース、182、40-48P.
- 木下武雄(1968)：都市化による流出の変化、土木技術資料、9、445-449P
- 日下雅義(1966)：都市化の進展と水害—桂川右岸の場合、立命館文学、252、487-522P.
- (1968)山城盆地南部における内水災害、地理評、41、505-519P;

- 宮田 正(1969)：石神井川流域の都市化による流出変化と水害の傾向に関する考察(第1報)、地理評、42、667-680P.
- 村松郁栄・藤井陽一郎(1970)：日本の震災、三省堂新書、三省堂、189P.
- 中野尊正(1963)：日本の0メートル地帯、東大新書、東大出版会、224P.
- (1968)：都市地域の災害と公害、都市構造と都市計画(都立大都市研究会編)、358-429P.
- ・門村 浩・松田磐余(1968)：東京低地の埋没地形と地盤沈下、地理評、41、427-449P.
- ・——・——(1969)：地域の変化に伴う災害の変質、人文地理、21、601-616P.
- ・——・——・田村俊和(1970)：都市における自然環境の変化と自然災害(1) —環境変化と自然災害との関連性— 第7回災害科学総合シンポジウム論文集、199-200P.
- ・——・——・——(1970)：都市における自然環境の変化と自然災害(2) —軟弱地盤・地盤沈下・地盤高低下・自然災害の変化—、同上、201-202P.
- 中野尊正ほか8名(1970)：都市化にともなう自然環境の変化(1) —鶴見川の例—、都市研究報告2、45P.
- 西川 泰(1969)：最近の災害発現機構の特性について、第6回災害科学総合シンポジウム論文集、153-154P.
- (1970)：都市化による自然災害発現機構に関する二、三の特性について、第7回災害科学総合シンポジウム論文集、197-198P.
- 佐藤武夫・奥田 穰・高橋 裕(1964)：災害論、勁草書房、349P.
- 田中 茂(1968)：昭和42年7月豪雨による崩壊斜面の基礎調査、建設工学研報告11、145-189P.
- 辻 文男(1966)：淀川流域低湿地の宅地化と洪水災害、人文地理、18、47-72P.

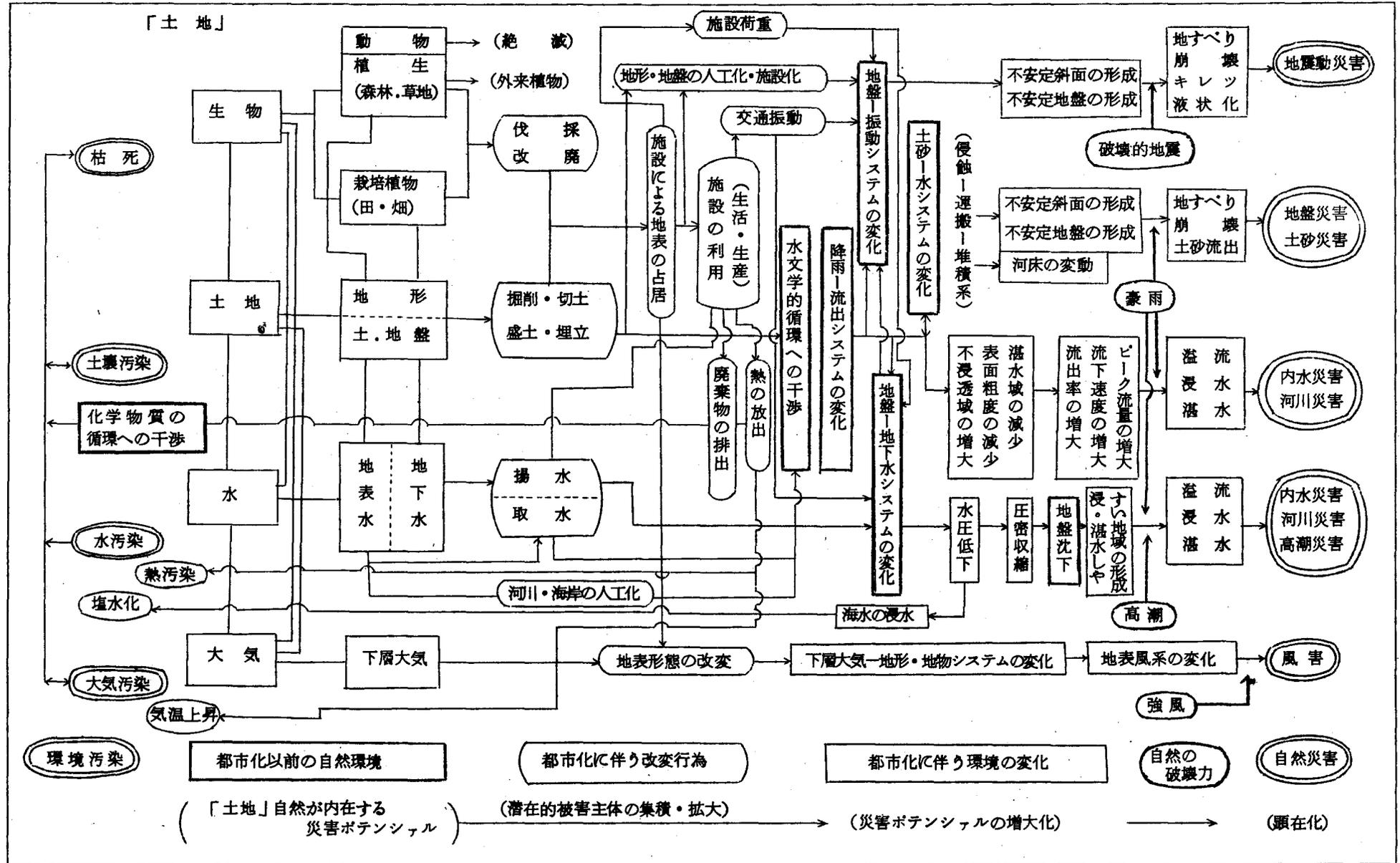
—— (1968) : 京都市南西部低地における宅地化と洪水災害、同上、20  
616-644P.

Stewart, G.A. (Ed) (1968) : Land evaluation — Papers  
of a CSIRO Symposium organized in Cooperation  
with UNESCO, Canberra 26-31 August, 1998.  
Macmillan of Australia, 392P.

Stoddart, D.R. (1965) : Geography and the ecological  
approach — The ecosystem as a geographic  
principle and method, Geography, 50, 243-251

Thomas, W.L. et al. (Ed) (1955) : Man's rule in changing  
the face of the earth, Univ. Chicago Prers, 1193P

図1-1 都市化に伴う自然のシステムの変化とその災害へのつながり (試案) (門村1970)



- (注) 1) 都市化に伴う自然環境の変化の基本的パターンとその自然災害、「公害」へのつながりのプロセスのあらましを一般化して示す。  
 2) 地盤-振動システムなど5つの自然のサブシステムは、いずれも人工化・施設化された土地と施設とを重要な構成員としている。  
 3) 地盤-振動、土砂-水システムの変化ならびに、環境汚染と自然災害との関連性については、今後の研究にまつところが多い。  
 4) 災害の地域性については、開発の規模・強度・様式、改変の対象となる「土地」の特性などを考慮したフローダイアグラムを作成して検討されるべきである。



## 第2章 地盤沈下の地域性と海面下の土地の拡大ならびに それに関連する若干の問題

### 1. ま え が き

地盤沈下の原因の大部分を、地下から地下水あるいは水溶性天然ガスの汲上げに帰することは、今日では否定できないほど明白なことである。地下水の用途が工業用、農業用、都市上水道用、ビルなど建物用、商業用、学校・病院用などにわかれるほか、水溶性天然ガスをふくむ鉱業関係の地下水・鉱産資源の採掘にともなう沈下と多岐にわたり、この結果、原因を工業用水の汲上げということに反論する関係者もある。

しかしながら、今日では地下水の用途別に、地盤沈下量のなかにしめる割合を概算することは可能であり、たゞ機械的に原因をならべたて、それらの地盤沈下への関分の順位を無視することは非科学的といわねばならない。純粋に水文学的、水文地質学的には、詳しい揚水実態とそれにとりなう地下水位の変化、収縮しやすい地層の圧密沈下が地層別に解析される必要があるが、このためには揚水実態の正確な資料を入手するための多数の観測井が必要である。しかしながら、各井戸での揚水の実態は不明のものが多く、すでに過去の実態は復元不可能であるし、観測井の数は限定されている。純粋に自然科学的に満足できる解析は不可能といわざるをえない。

一方、地盤沈下それ自体は、直接には施設の破壊をおこし、海面下の土地を拡大し、水害や地震水害の危険性を増大している。場所によっては、地盤沈下と合せて地下水の塩水化を惹きおこしており、ある場所では地盤沈下はみないものの地下水の塩水化を進行させ、眼にみえない「公害」を進行させている。

こうした点から、地盤沈下防止のため、行政的規制がおこなわれているが、未規制の地域もある。また、地盤沈下の進行に気づかないでいる地域

もあって、地盤沈下対策の困難さをみせている。そこでこの章では、地盤沈下の地域性を中心に、地下水汲上げの実態のある側面とそれに関連する諸問題についてのべておきたい。

## 2. 地下水利用に関連する問題点

### 2-1 水溶性天然ガスの採取とそれに関連する若干の問題

東京低地域において、主として水溶性天然ガスの採取による地盤沈下が進行している地域は、その南東隅をしめる船橋付近にみることができる。図2-1、はこの地域における地盤沈下の進行を示してあり、表2-1はこの地域における水溶性天然ガス採取の会社の一覧である。海岸よりの低地帯に7井、下総台地側に14井あり、台地域では団地用水の揚水量はきわめて小さく、急激な地盤沈下のほとんどすべてを水溶性天然ガスの採取によって説明ができる。

低地域においては、工業用水、ビルなど建築物用水などが含まれているが、それらの用途別揚水量は表2-2に示すとおりである。この表をみる限り、低地域においても水溶性天然ガスが他を抜いており、工業化の進展と考え合せ、工業用水としての地下水の規制が必要なことを指摘できる。

表2-3は用途別揚水深度を示す。水溶性天然ガスと工業用水などとの間に明確な差異がみられ、深層であっても地表の地盤沈下としてあらわれることに注目すべきであろう。

表2-4はこの地域の観測井における層別収縮量を示す。この結果は決定的に、深層からの取水、水溶性天然ガスの採取をとめない限り、地表の地盤沈下が進行し、その速度が現状と同程度であっても、かなり早い時期に、東京低地南東隅をしめる葛南地域の広い範囲に海拔0メートル以下の海面下の土地いわゆる0メートル地帯を拡大していくことを示している。

そこで表2-5に、この地域の主要水準点の真高、変動量、0メートルに達した、あるいは達するであろう年月を示す。年間の変動速度は均一と

仮定し、また将来沈下量は最もあたらしい一年間の速度と同一と仮定する。したがって、沿岸埋立地に工場が進出し、地下水を揚水するとか、ガス井で規制がおこなわれると、変動量が変わり、0メートルに達するであろう年月にも遅速がみられるようになることは勿論である。

かつて、東京低地域の海面下の土地の拡大について、1965年までの5年間の平均地盤沈下速度の7割程度の速度を想定して、1970年、1975年の状況を予測したことがある。この研究の基礎となったのは1960年の国土地理院の測量結果と、それ以前の1958年に中野が国土地理院の一万分一地形図修正測量時の測量成果と現地調査によって求めた0メートル等高線図である。後述するが、その当時の予測と1970年の実態を比較すると、葛南地域の大半についていえることは、予測よりも地盤沈下の進行が速く、海面下の土地の拡大もはやかったことである。とくに船橋市の市街地付近のそれは異常に速く、すでに1970年に海面下の土地が市街地の大半に形成されている。このことの大半が上記のように水溶性天然ガスの採取におうとすれば、最近の常習的浸水、高潮による浸水のすべての、あるいは大部分の原因を天然ガス採取による地盤沈下の急性的進行に求めなければならない。

最近、東京通産局は業者の自主規制を求めた。1970年2月1日から6カ月間の主要地点における地盤沈下量は表2-6のとおりである。また、自主規制の内容は表2-7のとおりで、その効果を発揮したとしても、1971年2月までの1年間の地盤沈下量は約30cmに達し、かつて新潟付近においてみられた水溶性天然ガスの採取による急性的な地盤沈下の再現といわねばならない。水溶性天然ガスの採取規制の法的根拠がないため、新潟におけると同様、表2-8に示す新潟の例にならった禁止勧告を早急に実施すべきであろう。防潮堤の完備していない葛南地域は、内水排除施設も不備であり、1971年夏・秋の台風シーズンに高潮災害をうけることもありうる。また後述のように、地震水害の危険性も高まっているとい

いえよう。

水溶性天然ガスの採取による影響地域の大きさは、毎年実施される水準測量結果でみる限り、図2-2の通り半径約2kmで、葛南地域の原木南、行徳、浦安には及んでいない。行徳地区、浦安地区の年100mmをこえる地盤沈下については別の解釈が必要である。この点については後にのべる。

## 2-2 地下水の揚水規制地域における問題点

地下水の揚水規制が実施されている地域としては、東京や大阪が知られている。ここでは東京の例について問題点をのべておきたい。

図2-3は、東京における地下水汲上げの規制地区と揚水規制深度を示す。また、隣接の埼玉県、千葉県を併せて示してある。図をみてすぐわかるように、地域によって規制の程度に差がある。このような規制には科学的根拠があるのだろうか。図2-4は、東京都の東西方向の断面に、主な帯水層と揚水量をプロットとしたものである。図2-3に示す揚水規制深度と規制地域とを併せて表現し、地下水利用の実態を断面でとらえて示してある。きわめて明らかなように、揚水規制深度より下に、揚水可能な深度に揚水層があることを示している。いわば“しり抜け”の状態にあることを示している。

ところで、東京における地盤沈下の年次変化を、年100mm以上のところを地盤沈下の中心地域として示すと、図2-5のとおりである。過去において、地盤沈下の中心地域は荒川放水路の西側から、東および北へのび、さらに最近では東南部の沿岸ぞいに千葉県下のそれと連合していく勢いにある。また北側では、城北地域において西へのび、その北側の埼玉県下のそれとはお互に独立の存在となっている。

このパターンは揚水規制区域のパターンとはかならずしも合致しない。また、揚水規制区域の設定が、その他の条件 — たとえば工業用専用水道、工場分布とそれらの設置年代など — をうけておこなわれているらしい

ことを示している。揚水規制区域はいわば行政的措置によって設定されているとみることができる。こうした行政的措置に、揚水規制地域における地盤沈下の問題点の一つが存することを指摘しておきたい。揚水規制は地域と揚水深、ストレーナーの直径によっておこなわれているから、規制揚水深度以下から、より大きな直径のストレーナーによって、継続的に揚水することは可能である。揚水量の規制はないし、揚水量を公表する義務もない。また、揚水量計量メーターの設置も、1970年12月までは完全には義務づけられていなかった。

揚水深、揚水量についての一例を表2-9に示す。図2-3・4・5と合せて読むと、地盤沈下は当分は継続するものといわねばならない。進行し、増大し、地域的にも拡大する地盤沈下は0メートル地帯の拡大、高潮防潮堤の維持天端高の不足、堤体の破損など、低地帯の水害の様相を大きく左右する変化を招来している。とくにいわゆる江東三角地帯では、かさあげをくりかえしてきた内部河川の護岸は脆弱であり、地震水害の危険性が高い。東京都の調査によれば、地震に対する脆弱さは表2-10のとおりであり、破壊時における水没の想定時間(単位は分)と水没範囲は図2-6のとおりである。

このようにみえてくると、都市域における地盤沈下対策は、地下水の利用を厳重に規制し、地盤沈下にもなう副次的災害の発生を可能な限りくいとめるものでなければならないであろう。地下水の利用は、こうした地域に無関係の地域について考えるべきであろう。地下水利用のきびしい規制は企業にとって賛同されないであろうが、すでに企業優先に考える地域の状態ではないことを知るべきであろう。

このような問題の指摘に対して、ビル用水や学校、病院などの用水、住宅用水なども問題であると反論されがちである。しかし表2-11に示すとおり、東京の例では工業用水の揚水規制が先決である。大阪付近の例にくらべて困難な問題の多いことはたしかであるが、ついで工業用専用水道

の確保など関連の問題の解決をはかるべきであろう。

また、行徳付近の年100ミリをこえる地盤沈下地域には、特定の揚水源はないから、揚水による地盤沈下をひきおこしている企業を特定化しにくいのではないかという反論もある。地域内になくても揚水による地盤沈下の影響圏は、地域的にも立体的にもある大きさをもっているから、地域側にその原因の一部を求めるとともに、下層での揚水による地下谷の前野谷をうずめる上層での脱水収縮といった収縮のメカニズムによって説明でき、地下水の揚水は無関係であるとはいいきれない。むしろ、地盤沈下のメカニズムの一端を示すものとして、地下水汲上げの影響の一つのあらわれとみるべきであろう。なお、この地域の大きな沈下に対して、船橋付近の水溶性天然ガスの汲上げの影響は、影響圏の大きさと両地域の距離をみくらべる限り、直接的ではないと判断してよいであろう。

この例にみるような、揚水地域と地盤沈下地域のメレの例は、城北地区にもみることができる。常盤本線ぞいの揚水地域に対して、その北側の地盤沈下地域は、とくにその初期において明瞭であったが、今では地盤沈下地域内でも揚水量がふえていること、表2-12に示すとおりである。

こうした例をみる限り、揚水規制は広域にかつ量的に実施されねばならないといえよう。とくに、地下水水理を考慮した規制が必要だといえよう。

### 2-3 地下水の揚水規制の行なわれていない地域における問題点

現行の法律では、条令によって規制がおこなえるようになってはいるが、代替水の問題、コストの問題などから、条令による規制はごく一部の地域に限られているのが現状である。このため、農業用水の汲上げが主要原因とみられる佐賀県白石平野の例、ビル用水の汲上げによるところが大きいとみられる高知市周辺の例など、揚水規制がおこなわれていない地域での地下水利用にもなる問題が各地に発生している。また、地下水の利用にもなる地下水の塩水化については、各地に事例が知られているが、この

問題については何等の行政的措置はとられていない。地下水の塩水化については後述することにして、ここでは高知市付近の例をとって、こうした地域における問題点の概略を指摘し、東京付近における未規制地域における問題として考える基礎としたい。なお、高知市の例の詳細については後述してある。

高知市付近に海面下の土地が約8K㎡存在することについてはかつて筆者が報告したとおりである。この概数は3000分1都市計画図（昭和35年測量）について求めたものである。1970年8月下旬この地方をおそった台風10号によって、高知市の0メートル地帯は高潮にのまれ、表2-13にみるような被害を発生した。そこで2500分1都市計画図（昭和44年測図——空中写真測量）について、高知市付近の海面下の土地の面積と両図の標高点を手がかりとする10年間の地盤高の変化を調べた。市域外については2.5万分1地形図（昭和40年測図）を参考としたが、0メートル以下の面積は約10K㎡、マイナス1メートル以下の部分も、0.2K㎡程度形成されていることが判明した。地盤高の低下、両図の測量精度、とくに標高点の測量の精度に差があるから、そのまゝ地盤沈下とよぶのは問題はあるう）は大きいところでは1メートル以上もさがっている。精度差を考慮してもすくなくとも60～80センチメートルは地盤沈下していると判断できる。

ところで、この地域は図2-7に示すように、1945年の南海大震災の時に、120センチメートルも地盤が沈降し、海水の浸入をうけている。そのご、地盤は隆起し、表2-14に示すように、高知市内の低地部の水準点標高も、わずかに隆起を示している。このことから、地盤は隆起しつつあり、よもや海面下の土地の面積が拡がり、より低くなっているなどとは一般には考えられていなかった。日本の工業開発が地域分散を標榜しながら急速に展開していった昭和35年ころから、この地域にも港湾の埋立て、企業誘致の政策がとられたが、進出した企業はすくなく、かえって

戦災都市復興から、急速に市街地整備の方向を進み、ビルが中心部をしめて立地するようになった。

この地域の上水道源は地下水であり、ビルなどの用水源も地下水であったから、地下水の急激な利用増もこのころからすすんだとみてよい。このため、図2-8に示すように、地下水の塩水化がすすみ、地下水利用上の大きな問題になってきた。ビル群や上水道の水源は、レキ質の地層から採水しているもののほか、ビルや学校・病院、工場などでは、細砂質、シルト質、粘土質の細粒の地層の厚い地域でも採水しているものが多い。

地盤沈下を予想していなかったため、詳しいくりかえし水準測量のデータはない。地下水のみにたよった水利用でありながら、その帰結としての自然の変化については、塩水化のみに関心がはらわれていたにすぎない。地盤沈下対策は何等おこなわれないうちに、海拔マイナス1メートル以下の地域をうみだしている。地下水の利用がすすめば、地盤沈下あるいは地下水の塩水化、あるいはその両者が発生するものと考えらるべきである。

この高知市の例のように、日本の地方都市や大都市周辺の地域では、地下水利用に依存するものが多い。それらの立地地域では、大なり小なり地盤沈下が問題になりうるであろうから、早い時期に総点検が必要であろう。とくに、東京に近く軟弱層から揚水している埼玉県東南部の地域は、周辺での工業化もすすんでいるので、とくに監視が必要である。

高知市の場合には、用水源対策とともに、当分はつづくであろう地盤沈下を見込んだ高潮防潮堤の建設、下水道整備、地下水利用の規制といった一連の施策が必要であり、その基礎として、水準測量の繰返しが必要である。

#### 2-4 地下水の塩水化

地下水の利用にともなう地下水圧の低下、海水の浸入、地下水の塩水化という一連の変化は、日本の各地に知られている。東京、大阪、名古屋などの地盤沈下地域はもとより、和歌山、徳島はじめ中都市の工業地域では

、大なり小なり塩水化現象が知られている。静岡県田子ノ浦港周辺も、" 姿なき公害"としての塩水化が急激に進行したところであり、その概要をかつて報告したことがある。ここではあたらしい資料を加え、研究協力者矢田恒晴の報告を収録しておきたい。

この港湾は工業整備計画にのっとり、静岡県が地域開発の一拠点として建設にのりだしたものであるが、開港後も連続的に、製紙排液のもたらすリグニンの堆積にやまされてきた港湾である。

昭和35年に田子ノ浦港周辺で発見された地下水塩水化現象は、その後ますます激化し、内陸へ拡大して用水型工場群に脅威を与えている。塩水化域は、田子ノ浦港を中心として半円状に拡大し、44年春には港口部よりおよそ3km内陸にまでおよんだが、45年にはかなりの縮小がみられた。

### 1) 各帯水層における塩水化

この地域の帯水層は4層に大別することができる。第1層は富士川扇状地および浮島ヶ原を形成する砂・粘土・砂礫等の互層からなり、浮島地区では下部に化石海水を含む。第2層は熔岩層で、おおむね和田川の西側に存在する。吉原市街地のあたりでは3枚に分れており各層間には数mの厚さの火山砂礫をはさんでいるが、田子ノ浦港のあたりでは1枚のみが存在する。この層はこの地域の最良の帯水層であり揚水が集中していた。上部は緻密であるが下部は孔隙や亀裂が多く、地下水は透水性の劣る下位の第3層の表面の起伏に流動を規定されて、地下川のようになって流動している。第3層は和田川以西では第2層の下位に、以東では第1層の下に直接存在する。火山砂および火山砂礫よりなり第2層について透水性が良く揚水が盛んである。この層の下位の第4層は固結状の火山砂礫層で透水性は悪い。

各帯水層における塩水化の状況とその時間的な変化を明らかにするため、4本の断面をとり(図2-9)、塩水の浸入の様子をとらえ、図2-10

に示した。

A-A'は田子浦港を横断して海岸線にほぼ平行な断面であり、田子浦港の下から塩水が侵入している状態を示している。塩水化は港の西側では第2層でいちぢるしく殆んど海水と変わらないほど高濃度の塩水が、第2層の大きく盛り上っている川成島の東側あたりまで侵入している。港の東側では第1層から第4層まで塩水化しているが、東方へゆくにつれて $ce^{-}$ 濃度は減少する。港のすぐ東側における第4層の塩水化は局地的なものである。B-B'、B-B''はともに田子浦港より内陸方向への熔岩分布地域における断面である。両断面において第2層の塩水化が激しく、第1層では第2層に接近してストレーナーを設けた井戸において塩水化がみられる。しかし、その場合でも第1層内の $ce^{-}$ の濃度は第2層内のその10%にみえない。第3層以下では塩水化はおきていない。43年に比べて45年の $ce^{-}$ 濃度はB-B'断面においては第1層内で増加し塩水化の進行を示すが、他の帯水層ではあまり変化はみられない。B-B''断面では第2層において $ce^{-}$ 濃度の減少がみられ、塩水化井が淡水に回復した観測井もある。C-C'断面は田子浦港より浮島ヶ原にかけてのもので、吉原駅付近で最初に塩水化の発見された地域を横切っている。第1層から第3層にかけて塩水化しており第4層も局地的に塩水化している。43年当時すでに塩水化がかなり進行していたが、45年には全体に $ce^{-}$ 濃度が増加している。特に第4層において増加がいちぢるしい。第4層における塩水化は地域的にみると非常に局地的であり、揚水による同層の水圧の低下により上位の第3層から塩水が侵入したものである。

このような各帯水層の塩水化の状況は、いずれもそれぞれの帯水層からの地下水揚水の状況を反映している。和田川以西の第2層の塩水化はこの地区における地下水揚水が同層内の被圧水に集中していたことによる水圧低下が原因であり、従って揚水のすすまなかった他の帯水層には塩水化は殆んど発生していない。わずかに富士駅の東側の、第1層下部からの揚水

が盛んである地区に塩水化がみられるにすぎない。和田川以東地区における第3層および第4層の塩水化の激化は、第1層および第3層から行なわれていた揚水が、これらの層における塩水化の進行のために第4層から揚水するようになり、その結果、特に透水性の悪い第4層において水圧低下が生じたためであると思われる。

### 熔岩層下の起伏と塩水化の拡大

和田川以西の熔岩層分布地域における塩水化の進行および拡大は、同層内の地下水の流動を規定している熔岩層下限の起伏、すなわち第3層表面の起伏により影響をうけている。図2-11は第3層表面の起伏と各年度の $cl^-$ 濃度300PPMの等値線で示した塩水化域の状態との関係を示す。第3層の表面には吉原市街地の西側から田子浦港へ至る谷と伝法から富士市街地へ至る谷とがあり、両谷は石坂から川成島へ至る尾根状の高まりによって隔てられている。前者の谷をそれぞれ東谷および西谷、後者の尾根を中尾根と呼ぶこととする。塩水化した地域は東谷および中央尾根の東斜面部分にあたり、また、最初に塩水化した2箇所の井戸はそれぞれ田子浦港の周辺にあり、東谷の最深部分を東西からはさむようにしている。また、その後の塩水化の進行も田子浦港周辺で特に激しく、 $cl^-$ 濃度も特に高く一年中海水と殆んど変らぬ $cl^-$ 濃度の塩水が存在している。このようにことから海水は東谷の最深部分のこのあたりから第2層へ侵入したことが明らかである。侵入した海水は塩水楔を形成しながら谷沿いに北上し、内陸へ拡散した。豊水期および渇水期の帯水層内の水圧の変化にしたがって一進一退を繰り返しながら次第に内陸へ塩水化域を拡大していった。塩水の流動は東谷の中央部においては、この地区の第2層の下部には特に孔隙や亀裂が多く存在し、一種の地下川を形成して地下水が流動しており水圧の変動に対して敏感に反応するため、 $cl^-$ 濃度の変動が大きい。地下等高線と塩水化の前線とは工場が少く揚水量もあまり多くない中

中央尾根の部分ではほぼ平行し、埋没起伏が塩水化の進行に影響を与えていることを示しているが、吉原市街地や和田川沿岸等の工場の集中しているところでは揚水過多のために水圧低下が大きく、また、塩水化が下位の第3層にも及んでいるために両者の関係は乱れている。

東谷と中央尾根で隔たる西谷へは塩水化はおよんでいない。西谷を流れる地下水は東谷と同様に富士山系統のものであるが、水温が約1℃以上高いこと、また東谷に比べて賦存量も少ないこと等のことから両者は岳麓のこのあたりでは別個の地下水流となっているものと考えられる。現在、西谷の部分には工場も少く地下水の開発もまだ進んでいないために塩水化の兆候はみられない。

45年春には塩水化の前線は大幅に後退した。熔岩分布地域では熔岩層の透水性が良いために塩水の侵入とともに希釈も早く、 $cl^-$ 濃度は減少し塩水化域も縮小した。しかし、和田川以東地区では北部では塩水化域は縮小したのに対し、南部では $cl^-$ 濃度は依然として増加をつづけている。これらの塩水化域の縮小は42年より始った地下水揚水規制が影響しているものと思われる。

### 塩水化にともなう水利用の変化

塩水化の進行にともなってこの地域の水利用体系に変化があらわれた。図2-12はこの地域の水利用量の推移を示す。製紙パルプ工業は良質の工業用水を多量に必要とし、 $cl^-$ 濃度500PPmが高級紙の生産には限度である。図2-13は塩水化発生前後における工業用水の使用量およびその水源別割合を示す。塩水化発生後も和田川沿岸の用水型工場群が塩水化域内につつまれた39年までは地下水の利用は増加しつづけ、38年には工業用水全体の86%を占めた。しかし、塩水化の影響により廃止井が続出したためにその後の地下水の利用の増加は工業用水全体の伸びにくらべて少なく、44年には60%にまで対全体比が下がった。しかしなが

ら非塩水地域に多くの構外井が新設されたために、量的にはわずかに増加している。地下水の占める比率の低下は、工業用水道および回収水の増加によって補なわれた。この地域は元来豊富な地下水に強く依存していたために工業用水道の建設や回収水の再利用がすすまなかったが、塩水化の進行によって工業用水道の建設は促進され、富士川工業用水道（日量約24万 $m^3$ 、39年4月一部給水開始）および東駿河湾工業用水道（日量約100万 $m^3$ 、45年4月給水開始）が建設された。また各工場は回収水の再利用に努め、殊に中小工場においては新規の鑿井よりも手軽な回収水の利用が盛んである。地表水は工業排水により河川が汚濁したことにより、工業用水としての利用は減少の傾向である。

農業用水においては農業用井戸の塩水化や、工業排水中の $Cl^-$ 濃度の増加により河川水の $Cl^-$ が増加して和田川および滝川沿岸で水稻枯死等の被害を与えているために、灌漑用水の水源転換が行なわれた。

生活用水においても上水道の水源地の塩水化のために、より山側や第3層表面の起伏の西谷の部分へ水源地の建設がなされている。

このように、すべての水利用用途において大きな変化がおきている。

### 3. 地盤沈下の地域性・海面下の土地の拡大・水害の変質の相互関連

地盤沈下の発生機構に関する研究は、地球物理学、地質学、水文学、土質工学など多くの分野の研究者によって進められてきた。むしろ他の分野、たとえば、地理学、社会科学の面からの研究がすくなくともいってよい。ここでは、地盤沈下の地域性に注目しつつ、地盤沈下の結果、地盤高が低下し、ついに海拔0メートル以下の土地、いわゆる0メートル地帯が形成、拡大し、その結果、その地域の水害の様相が変化することを、東京低地の例を引用しながら、一般的にのべておきたい。

すでに常識的に知られているように、その用途の如何をとわず、地下水

あるいは水溶性天然ガスを揚水または採取すれば、採水層の状態（粒径、しまり具合、層厚、上下層の状態）、揚水量の多少、揚水の継続時間などを反映して、地盤沈下が発生する。地質的条件が地域的には同一ではありえないし、揚水量も地域的にことなるから、年間地盤沈下量も地域差を示すのは当然である。この当然の結果は、もともと同一ではないその地域の地盤の高さに、地域差をもつ地盤沈下量が加わって、地盤沈下地域の地盤高を時々刻々と変化させる。

地質的条件は地域差をもつとはいえ、それぞれの地域に個有なものであり、揚水による収縮といった人為的变化は、地質的条件によって予測可能な性質のものである。その予測は当然、地域差の予測を含むものである。

一方、揚水量や隣接地域の揚水の影響は一部は自然科学的に、かつ地域差を示しつつ明らかにすることができるが揚水を必要とする工場、ビル、学校、上水道源など地域の社会的、経済的条件に大きく左右されるし、社会的、経済の変動をうけて年次的にも変動をつづける性質のものである。

地域の地盤高は原初の状態においても一般に1～数メートル（メキシコ市や台北市など内陸盆地では高度差が小さいというべきである）であり、数年間、地盤沈下が進行すると海面下に達するし、もとの地盤高の影響は年をおって小さくなる。

したがって、海面下の土地の形成・拡大は、地域差をもつ地質的条件を反映しつつ、その地域および隣接地域の社会、経済的条件に大きく左右されることになる。図2-14は、東京低地における海面下の土地の形成・拡大の予測結果である。1920年にはまだ形成されていなかったが、1940年には南砂町付近に小さな眼が形成され、遂次1960年、1965年、1970年と拡大してきたことを示している。1970年の予測のうち、東南部の葛南地区の現状は1980年の予測との中間の位置にあるとみてよく、予測以上に海面下の土地の拡大が大きかったことを意味する。

このような予測には地下水の揚水量の予測、したがって、地域の開発、

水道整備に対する予測が必要であるが、ここでは過去の地盤沈下量と揚水規制の実施をみこんで、実績のほぼ70%程度とした。それにもかかわらず、江東地区の西を限る0メートル線の西への移動は小さく、北および東、さらに東南の方向への0メートル地帯の拡大が顕著である。西側の0メートル線の移動の停滞は、ある意味では地下の沖積層の基底が示す埋積谷の分布を反映しているし、あわせて揚水規制の影響を反映しているともいえる。

しかしながら、揚水が沖積層に集中し、揚水深が深くなる傾向にあるから、揚水量が大きくなると、地盤沈下量はこれまでにくらべて増大する。こうなると、地盤沈下にともなう地盤高の低下は沖積層の厚さや分布とは関係がうすくなり、0メートル線の移動はより誇張されてくることになる。このような変化が目立ってくるのは1970年代の後半以降とみてよい。その時には表2-15に示す東京低地帯の平均海面以下の土地の面積は1980年を含め、大きな値になるものといえる。

こうした予測を考慮した下町の防災都市計画でなければ、巷間つたえられる1990年ごろから活動期にはいるといわれる大地震に対処することはできないであろう。また、現在以上に深層から揚水することを禁止するなどの行政的措置を必要としよう。

また、北に隣接する埼玉県南部、東部、東につづく千葉県浦安・市川・船橋地区における地下水利用の増大はここ当分否定できないから、その影響は東京都内の0メートル地帯にも波及し、河川堤防、高潮防潮堤などに計画以外の影響をあたえることになる。すでに維持天端高をわっている高潮防潮堤の延長は年々増大の傾向にある。こうした実態が、この地域の水害の様相をかえる素因的条件となっている。地下水利用の増大を促進している工場、都市の拡大、水道整備事業のおくれ、下水道整備の不備、水防諸施設の新設改修のおくれなど被害拡大の社会的経済的要因の悪化もあって、常習の水害地域は東京低地の北、東の外縁部へ拡大しつつある。こ

うした点を考慮して、この地域の被害を想定するための洪水水理の変化については、さきに東京都防災会議の資料として提示したことがある。図2-15がその例である。

明治大水害いらい、荒川放水路の開さく、新中川の開さくなど、東京低地帯における水害防除の事業は、いわゆる江東三角地帯を軸にすすめられてきたが、都市化にともなう低地帯の社会的様相の急激な変化にあわせて、地盤沈下、それにともなう地盤高の低下、水路と地盤高の水害に対して危険な関係、防潮堤など水防排水施設の地盤沈下による能力低下、地域構造の変化など、多様な変化のなかで、水害の様相、被害地域の外縁部への転位などの変化が質的にも量的にも、また地域的にも進行してきた。また、地盤沈下が進行する限り、また圧密収縮層が深くなる限り、水害を悪化させるこうした条件は進行するであろうと考えることができるようになってきた。

#### 4. 地震水害の危険性の増大・広域化

地盤沈下の進行、海面下の土地の拡大・低下によって災害の様相を大きく変える可能性も強まってきた。地震水害発生の危険性の増大・広域化である。地震水害は日本の過去の事例として、南海大地震時における高知市付近の0メートル地帯、新潟地震時における新潟付近に指摘できる。地震津波による水害として処理されてきたが、実態的には地震水害と津波水害の複合被害というべきであろう。

最近の研究によれば、東京湾奥沿岸における地震津波の高さは、最悪の予測でも図2-16に示すとおりであり、水防施設の不備ないし破壊のない限り、被害を深刻化させることはないであろうと考えられている。現状では水防施設の不備は船橋港付近を中心に指摘できる。破壊については施設自体にはまず問題はないだろうといわれているが、地盤の破壊による施設の機能喪失、流木、流船などによる打撃による破壊については検討が

充分でない面もある。

地震水害としてもっとも問題になるのは、内部河川のかさあげをくりかえしてきた護岸である。すでに示したように、それらの地震に対する強度は弱く、延長にして約10%は何らかの破壊があるものとして図2-6が作成されている。約10%という数値は、関東大震災時における統計によっているが、江東地区における地盤沈下の地域差、施設の支持地盤の強度、これまでのいたみの状況などを考え合せると、江東三角地帯の東半分と西半分とでは被害率はことなると考えるべきであろう。東半分の海面下の土地が形成されている地域においてより大きな被害を発生すると考えるのが妥当であり、また、前出図2-6もさらに悪い状態の図に修正されるべきであろう。

さきに指摘したように、海面下の土地は千葉県の高南地域に拡大している。現在工事は進行しているとはいえ、未整備の地域も広く、地盤沈下が急速に減少するであろう客観的事情もない。東京低地におけるもっとも地震水害の発生しやすい地域として、水防施設の整備が強くのぞまれる。

## 5. 高知ゼロメートル地帯

### —— 中小都市における問題発生の一例として ——

#### 1. はしがき

過去の水害をしらべてみると、日本にはいくつかの長期湛水被害をしばしば発生している地域がある。濃尾平野の西部・南部や高知市東部などがその例である。高知市東部の場合には図-1に示すように、過去の大地震、高潮によって、かなり広い面積に浸水をみたことが明らかである。大地震の時には津波による浸水であるが、それが長期にわたって湛水し、湛水による被害を発生するのは、湛水地域の地盤が低く、満潮時はもとより、干潮時にも水が残留停滞するためとみてよいであろう。つまり、土地の高

さがその地域の平均海面より低い部分の存在すると考えてしかるべきである。マスコミ用語として広く用いられるようになったゼロメートル地帯の存在を示すということである。

しかしながら、一般にはその存在は信じがたいことのようにであるし、高知ゼロメートル地帯にしても、筆者がさきに拙著「日本の0メートル地帯」において指摘するまで気づかれなかったし、指摘が充分でなかったこともあり、また南海大地震後の復元的地盤の上昇が水準測量の結果として知られていたこともあって、1970年8月の台風10号による高潮被害をうけるまで、表だって問題視されることもなかった。

長期湛水とか常習的浸水という現象は、その地域にそうした現象が発生しやすい素因が内在していることを示すものであり、その内在している素因を明らかにしていくことによって、原因を明らかにし、排除のための方策が発見できる。長期湛水とか常習的浸水が市街地に発生するようになれば、排水施設の不備をうたがうとともに、ビルや工場での多量の地下水汲上げに疑問をむけることになる。疑問はさらに発展して、地下水汲上げによる地盤沈下や地下水の塩水化にむけられることになる。

台風10号による高知の被害についての報道をテレビでみながら、筆者はつきつぎと高潮被害の発生の素因となった諸条件について考えた。報道では、ゼロメートル地帯の言葉もきかれたが、それが素因として関与している点には言及されなかった。南海大地震のあと、またチリ地震津波のあと、この地域を調査した時、過去の大地震や津波によってもほとんど同じ地域が水没したことを知っているし、南海大地震のあと、この地域が120センチメートルも沈下し、その後、地盤の復元的隆起がおこり、平野部でも地盤高が高くなる傾向にあることも知っている。地盤高の復元はおこったが充分でなかったのか、それとも地盤高の復元は水準測量ルートでの現象であって、それ以外ではいぜん沈下したままなのか。それとも自然的な地盤高の復元を上まわる地盤沈下が進行しているのかなどさまざまな可能性

について想いめぐらしたのである。かつて高知ゼロメートル地帯の存在を指摘した責任を一部に感じながら……………。

## 2. 2つの都市計画図

かつてこの地域のゼロメートル地帯の存在を指摘する時に利用した基礎資料は、3,000分1都市計画図（昭和35年 パシフィック航測測図）である。南海大地震のあと、この地方の調査をし、まだ海水が湛水しているのを見て海面下の土地の存在することは知っていたが、その当時海面下の土地を確定できる資料がないまゝ、過去の歴史時代の大地震の時にも同様の事実があったこと、何となく、南海大地震による120センチメートルの土地の沈降によることが大きいことなどにその理由をもとめて、それ以上の追求をしていなかった。しかし、都市計画図をみると、ほぼ南北に浦戸湾、潮江湾から北にのびる国分川とそれに東あるいは西から合流する鏡川、江の口川などの合流部を中心に、約8K<sup>2</sup>の海面下の土地が存在する。その形成の理由はともかく、この地域のゼロメートル地帯の存在は明らかとなり、かつ南海大地震の時の水没地域はもとより、過去の水没地域もほぼこの地域をおおっていることに気付いたのである。

台風10号の被害のあとしばらくたって、建築の川名教授から高知低地帯の問題について助言をほしいと求められ、高知市から2,500分1都市計画図（昭和44年 パシフィック航測測図）を送ってきた。早速、水没した地域の検討をはじめたが、おどろいたことに、ゼロメートル地帯の地盤高が著しく低下しているのである。新版の2,500分1地形図（昭和40年）をみても、独立標高点にマイナスのものがあつた、かつその分布も広がっているようである。

2つの都市計画図と地形図とは、何れも測量の方法は同一ではないし、標高点の測定精度も同一ではない。したがって厳密な意味でそれらの数値を比較することには問題はあるが、すくなくとも、2つの都市計画図の同

じ点（あるいはほぼ同じ点）の高さの差の何割かは、両図の作成された期間における地盤の高さの差と考えてよいであろう。多少の盛土、削土などを考慮しても、1メートル以上の差は何らかの理由を考えないと説明できないであろう。

それにしても、2つの都市計画図が忠実に高知ゼロメートル地帯を描いていながら、その形成、拡大については充分な検討はなされていなかった。この2つの都市計画図が作成された期間、およびその前の10年ほどの期間におけるこの地域の開発、都市の戦災復興について若干ふれておくことが、あとの理解に好都合であろう。

日本における第二次大戦後の工業の発展過程、日本における工業都市あるいは工業地域の形成は、明治以降のことといてよい。明治初期における「殖産興業・富国強兵」の旗じるしのもとに建設された官営工場時代、資本主義経済の初期における財閥によってきずかれた宇部・新居浜・大牟田などの工業都市の建設時期、昭和初期第一次世界大戦ころの東京・大阪やその周辺地域などにおける工業地域の形成拡大、昭和初期における軍工廠を中心とした四日市・呉・徳山・佐世保などの工業都市の形成などがそれである。これらの工業都市の形成発展は第一次世界大戦、満州事変にはじまる第二次世界大戦といった事情に支えられながら、一方では今日の公害問題の萌芽的な状態を創出してきたのである。

しかし終戦、工業の低滞、食糧増産とエネルギー源の確保を柱とした戦災復興の時期には、工業開発や工業都市の発展は停滞し、農牧林業の開発、石炭の増産、水力発電の開発、河川総合開発による洪水防弊の諸事業の後塵を拝する状況にあった。戦災都市の復興も多くは木造建築物を中心に、上水道など生活に必要な最低線を確保することにその動がそそがれていた。

こうした事態が一変し、わが国の工業が本格的な立直りをみせたのは、昭和25～6年の朝鮮動乱による特需景気を契機としてであった。製鋸・

製鋼・石油・化学・機械などの重化学工業は、既成の工業都市、工業地域を中心に、急速に設備を拡充し、生産を開始した。と同時に、既成の地盤沈下地域では、終戦前後の地盤沈下停滞期に終わりをづけ、地盤沈下が活発化し、東京や大阪付近では年間15センチメートルに及ぶ地盤沈下をみ、ゼロメートル地域も拡大していった。

企業合理化促進法（昭和27年）の制定、工鉱業地帯整備協議会（経済企画庁 昭和32年）の設置など、政府も工業開発に力をいれるようになって、地盤沈下も緊急に対策を必要とするようになった。工業用水法（昭和31年）、工業用水道事業法（昭和33年）の制定は、地盤沈下対策をも考慮しているが、むしろ工業基盤整備に傾斜したものである。

既成工業地帯の先ゆきの明るくないことを打破するため、大規模な臨海コンビナート工業地帯の考えも、いわゆる三省公団構想（昭和27～28年ころ）として作成されたが、財界の反対でつぶされている。財界にとっては既成工業地域での工業の立なおりを考えており、これが地盤沈下を既成地域において激化させる一つの要因となったことは否定できない。

あたらしい工業地帯の開発・育成の必要は昭和30年代になってからであり、通産省は新規工業地帯立地条件調査（昭和33年）をはじめ、工業立地の調査等に関する法律（昭和34年）も制定された。かくして、千葉・五井姉崎・鹿島・名古屋南部・衣浦・堺泉北・岡山水島・大分鶴崎・相模原・湘南・小牧春日井・湘南・東大阪などの工業地域が形成されるようになった。既成の中小工業地帯も活発に操業をつづけたのである。

昭和35年の国民所得倍増計画はこうした工業開発とそれに必要な民間設備投資にいちだんと拍車をかけ、政府も結果として太平洋ベルト地帯に傾斜した工業開発に力をいれた。地方の中小工業地帯の造成に、地方自治体ももっとも力をいれたのがこの前後のことである。新産業都市建設促進法（昭和37年）、工業整備特別地域整備促進法（昭和39年）、低開発

地域工業開発促進法（昭和36年）が相ついで制定され、高知須崎も低開発地域工業開発地区に指定されたのである。

これらの工業関係の法律の整備にさきだって、首都圏整備法（昭和31年）、首都圏の既存市街地における工場等の制限に関する法律（昭和34年）などが制定され、大都市の過密問題が社会問題化し、ひいては地方都市育成、工業の地方進出をうながす世論もたかまっていたのである。全国総合開発計画（昭和37年）はこうした背景のなかで、いわゆる拠点開発構想をうちだした。地方工業都市はいわばお上のおすみつきをもらったようなものであった。

しかし昭和38年7月、新産業都市が指定されたところから、設備過剰が表面化した。東京・大阪などの既成の地盤沈下地域における地盤沈下も極大から多少停滞ないし減少を示し、それらの周辺地域において大きく沈下する傾向を示しはじめた。水俣問題、四日市問題、沼津三島問題など公害問題が表面化し、一方では田子ノ浦港の開港、周辺の地下水の塩水化、港湾内でのリグニンの堆積など、今日の公害問題の素地も形成されていった。

公共用水域の水質の保全に関する法律（昭和33年）、工場排水等の規制に関する法律（昭和33年）、ばい煙の排出の規制等に関する法律（昭和37年）等が相ついで制定され、つづいて公害対策基本法（昭和42年）も制定された。しかし公害は悪化の一途をたどり、昭和45年には各地の公害問題がにわかに社会問題化したのである。にわかにといったけれども、その下地は戦後昭和25年ころからの日本各地の工業化のうごきのなかで醸成されていたことを見のがすわけにはいかない。

日本全体の工業化の進展するなかで、南四国それも湾口の小さい浦戸湾にのぞむ高知市周辺の工業化は、日本全体のそれにくらべて、見おとりのすることは当然である。県全体としても農林水産業が中心であり、工業は高知市付近の若干をのぞいてみるべきものはない。製紙、電炉工業、セメントおよび石灰工業が知られている。なお、高知市には電力利用型の工業

、具体的には東洋電化（大正8年）、神戸製鋼（昭和11年）、土佐電気製鋼（昭和12年）、宇治電気化学（昭和14年）、南海化学（昭和26年）などが立地している。また日本セメント土佐工場（明治29年）や敷島紡績（昭和11年）などもある。何れも地下水を利用している工場であり、地下水の塩水化をきらい工業である。

全国的に地方工業都市の発展がはじまった昭和30年ころから、この地域においても浦戸湾の埋立て、港口の開さくなど港湾整備がすすめられた。また、戦災復興計画による街区の整理とともに、あたらしいビル建築も昭和35年前後から活発化し、地下水利用は急激に増大していったとみられる。

### 3. 高知付近の基礎地盤と地盤沈下の可能性口

日本全体の工業化のなかで、高知市の臨海部もまた、その一環として工業都市の様相をふかめていった。この地域では、工業やビルはどのような基礎地盤のうえで、どんな水源をどこから採取しながら操業してきたのだろうか。この点について若干のべておきたい。

図2-17、18は高知市付近の基盤の深さと沖積層の基底の深さを示す。また、図2-19、20は東西方向、南北方向の地質断面の代表例を示す。また、図2-21はこの地域の地形の状況を示す。

図2-17、18からは、古期岩類からなる基盤までの深さが意外に浅く、沖積層や洪積層の厚さも比較的薄いことがわかる。図2-19、20からは、西部で礫質、東部で軟弱な粘土層が厚いこと、また北側でも粘性土層が比較的目立つことがわかる。図2-21と比べると、表面の扇状地性の地形のところでは礫層が比較的あつく、デルタ性平野で粘性土の厚いことも指摘できる。また、図2-19、20に示されるように、地下水は沖積層および洪積層から揚水されている。

この地域には表流水を利用した上水道も、工業用水道もなく、水源はす

べて地下水である。山が近く、降水量も多く、地下水の涵養されやすい条件は整っているといえるが、問題は塩水化や地盤沈下を惹きおこさないような揚水がおこなわれているかどうかである。

塩水化現象については前出図2-8に示すとおり、潮江湾から北々西に進行する形で発生していることが知られている。軟弱な粘性土の分布する地域とも一致する点が多い。地盤沈下もまた進行している可能性が強い。この点の検討に先立って、地震にともなう地盤変動についてのべておきたい。

前出の図2-7は南海地震にともなう南四国の地盤変動を示す。高知市付近で120cmに達する沈降がみられるが、この量には地殻変動によるものと、軟弱層の振動によるセトリングの双方がふくまれているが、この両者は識別できない。関東大地震の時の東京下町の例からいえば、セトリング量は10~20cmくらいと判断できようが、確証はえられない。しかし前出表2-14に示すように、高知市内および山よりの水準点は何れも、その後の復元的な地盤の上昇を示している。

この測定時期に、水準ルートをはなれた地域において、依然として沈下がつついていたのか、沈下したまゝであったのかは断言しにくい。農地の水準測量の成果などをみると、若干の沈下は認めねばなるまい。表2-16はその一部を示す。

さて、問題はさきに指摘した2つの都市計画図の標高点の差からみた地盤高の低下である。昭和35年の都市計画図は、この都市のあたらしい街区建設の基礎資料であり、また時期的には、国民所得倍增計画をうけ、高度経済成長の波にのって、この都市でもビル建設、ビル用地下水利用が活発化するところのものである。したがって、地盤沈下がビル用水などの利用増ではじまったとすれば、その初期に近い状況を示すとはいってよい。

一方、昭和44年の都市計画図に示される標高点の高さは、その後10年間に地下水利用にともなう地盤沈下が進行していれば、当然それを反映

しているはずであるし、10年間におけるビルの増加とその分布を示している。この間、地下水利用型工業のめざましい進出はみられず、既存の工業の生産量の増加、ひいては地下水利用量の増加をみればよい。また都市人口の増加にする地下水利用の上水道源における揚水量の増大もあった。これらの揚水量やその変化が全く不明であるが、ビル用水の増加がもっとも急激であったと判断できる。この点については逐次解析していく予定である。

地盤沈下については全く予測されていなかったため、またそのうたがいももたれなかったため、地盤沈下の実盤把握のための水準測量や観測井による観測は全くおこなわれていない。2つの都市計画図しか基礎資料はない。したがって、地下水利用にともなう地盤沈下によると断定するには資料不足であるが、両図の示す場所によって1m以上もの差は、両図の精度や測量方法のちがいを考えても、地盤沈下によるものとするのが今のところ妥当であろう。平野部における地盤の隆起が記録されていることをみると、自然的沈下量があったとしても年間数ミリ程度と考えるのがよいであろう。

不明な点を解決するためには、水準測量を3ヶ月おきに数回実施することであり、地盤沈下と断定できるほどの沈下が発見されれば、観測井による観測と同時に、規制を考え、かつ上水道源などを地盤沈下の原因とならないような位置にうつすとか、表流水の開発利用を考えるなどが必要である。

都市の防災計画を考えるにしても、この市の市域のまんなかゼロメートル地帯をかかえていることは、何かと計画上困難が多くなる。かつまたそれが逐年地盤沈下によって拡大し、地盤が低下するとすれば、台風に毎年のように見舞われ、地震も沿岸沖合いに発生しやすいこととあいまって、将来大きな災害をひきおこすことにもなる。ことに台風はこのゼロメートル地帯の何れの例を通過しても、この地域に影響を与える可能性が

ある。

#### 4. あ と が き

高知市ゼロメートル地帯の例は、自然的条件からみても、また日本の地方都市における都市化とそれともなり自然環境の変化と、その及ぼす影響という点で、きわめて標式的な、また好個な例といえる。気づいたのが台風10号による高潮災害のあとという点でも、日本の多くの公害・災害にみる例と共通している。地域が孤立し、他にゼロメートル地帯が転位拡大する可能性がないという点では、日本の各地の中小都市におけるモデルケースとして、さらに詳しく調査をすすめておく価値があろう。

なお、この調査に当っては高知市長はじめ市当局者にお世話になった。記して謝意を表したい。

#### 主な参考文献および資料

- 千葉県衛生部公害課（1968）：葛南地域地盤沈下観測井調査報告書  
142P
- 富士市（1965～70）：富士市工業統計報告書
- 肥田 登（1969）：工業用水としての地下水利用について——静岡  
県岳南地域の場合 地理学評論 42巻 PP248～265
- 一都三県地盤沈下対策連絡協議会（1968）：一都三県の地盤沈下  
70P
- 地盤沈下対策都市協議会（1968）：地盤沈下 37P
- 貝塚爽平・菊地隆男（1969）：地下水帯水層の地質学的検討 江戸川  
地区における地下水解析調査報告書 PP11～44
- 甲藤次郎・今井嘉彦・満塩博美（1968）：高知平野の帯水層と地下水  
（第1報） 市政研究 地下水調査特集号 21P 高知市

- 高知市ゼロメートル地帯防災会議（1970）：10号台風状況と被害状況 26P
- ：高知市の自然環境とその構造 27P
- 村下敏夫・岸 和男（1968）：地下水塩水化についての研究。——  
第1報 熔岩帯水層の水利地質学的性格 地質調査所月報 18巻
- 中野尊正・門村 浩・松田磐余（1968）：東京低地の埋没地形と地盤沈下 地理学評論 41巻 PP427～449
- 成瀬 洋・新堀友行・羽鳥謙三（1968）：関東平野の地下地質 第1報 東京付近の洪積層 資源科学研究所集報 70号 PP77～85
- 新潟県（1969）：新潟平野の地盤沈下 20P
- 岡部史生・門脇和博・丸田英明（1968）：静岡県田子ノ浦港周辺の地下水塩水化現象 地理学評論 41巻 PP 201～206
- 新藤静夫（1968）：武蔵野台地の水文地質 地学雑誌 77巻  
PP 223～246
- 静岡県製紙工業試験場（1967～69）：静岡県製紙工業試験場報告  
18巻～21巻
- 杉原重夫（1970）：市川市の地盤構造 58P 市川市
- 東京都防災会議（1968）：東京都における中小河川氾濫——水害想定  
図——32P
- （1970）：東京近海における津波の特性について 7P
- 東京都首都圏整備局（1969）：内部河川処理検討報告書 江東地区防  
災拠点等防災都市建設調査 88P
- （1970）：地下水利用実態調査報告書 231P
- 矢田恒晴（1970）：静岡県岳南地域における地下水塩水化現象 地理  
学評論 43巻 PP 567～571

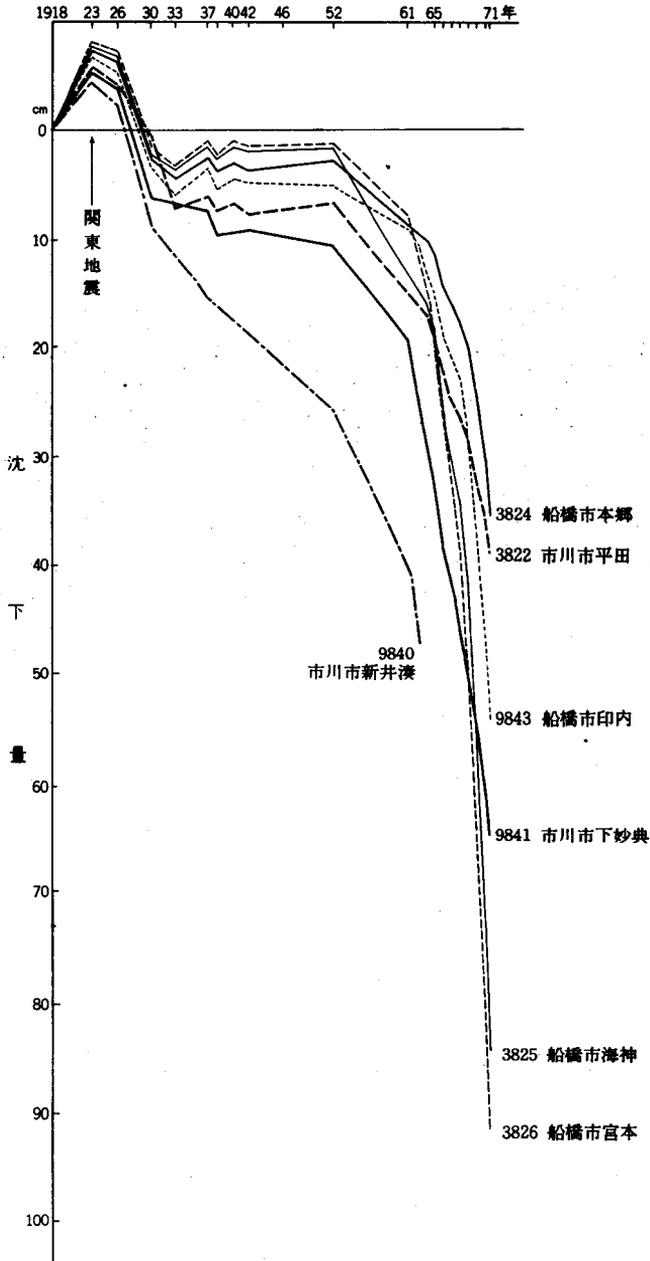
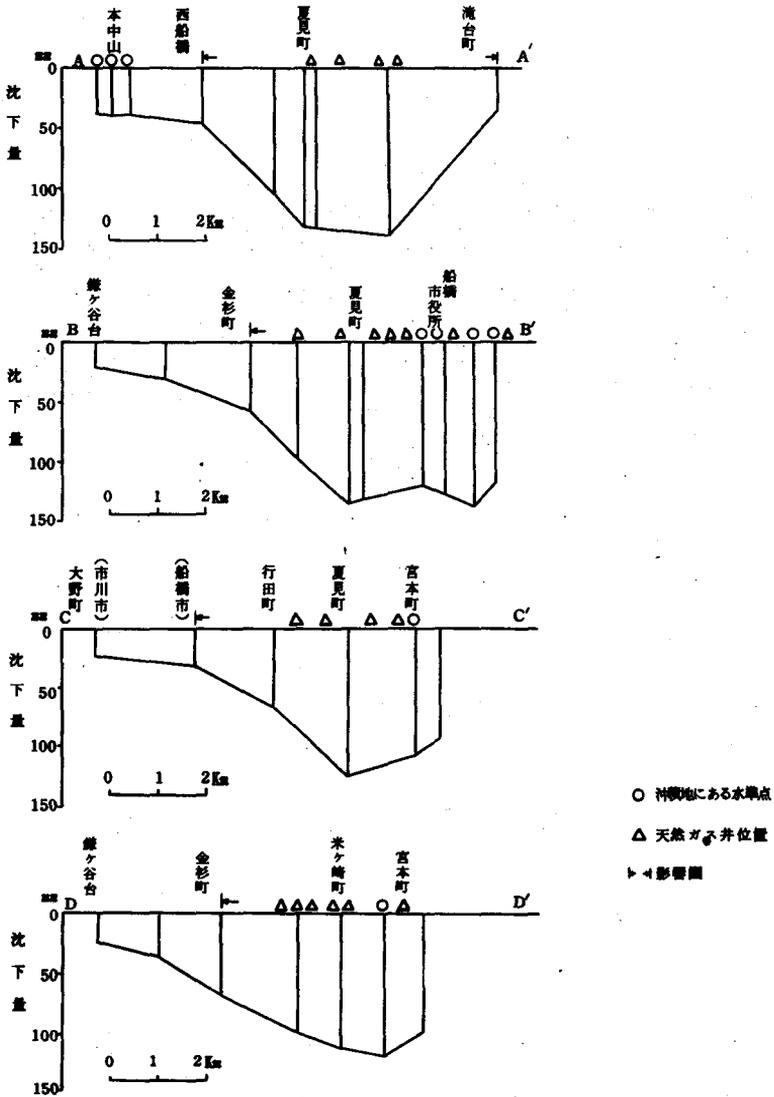


図 2 - 1 葛南地域の主要水準点標高の経年変化  
 1964年以後は毎年2月改測。71年は2月と8月に改測

図2-2 船橋地区における沈下にあられた天然ガス井の影響圏

A 沈下量からみた影響圏

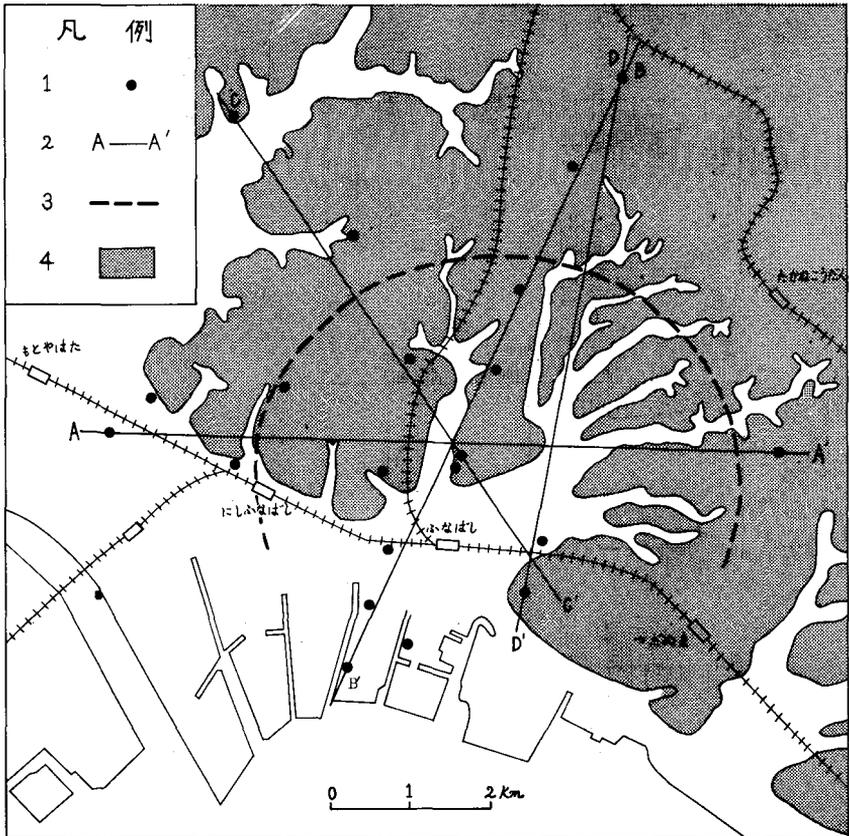


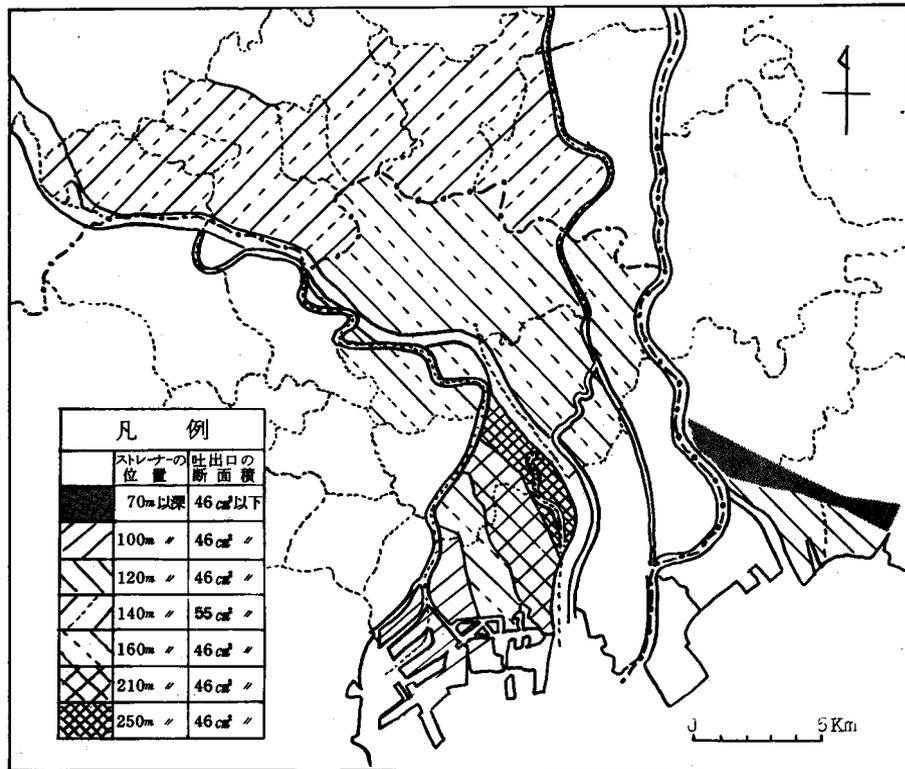
- 説明
- この図は、1970年2月より8月までの6ヶ月間における沈下量をもとにして作成してある。天然ガス井の影響圏は、断面図に示したガス井の影響とみられるものを示してある。この地区全体のガス井による複合的影響圏は除外した。
  - 図中に示した沈下量は総沈下量である。したがって台地上における沈下量は、台地上での地下水利用量を考慮しても、殆んどが天然ガス井の影響とみることができるが、沖積地での沈下量は沖積層に深の沈下量は総沈下量の約90%として考える必要がある。
  - 千葉県葛南地域水準調査成果表によった。

### 凡例説明

- 1: 水準点 (断面に記載したもの)
- 2: 断面の位置
- 3: 顕著な影響圏
- 4: 台地

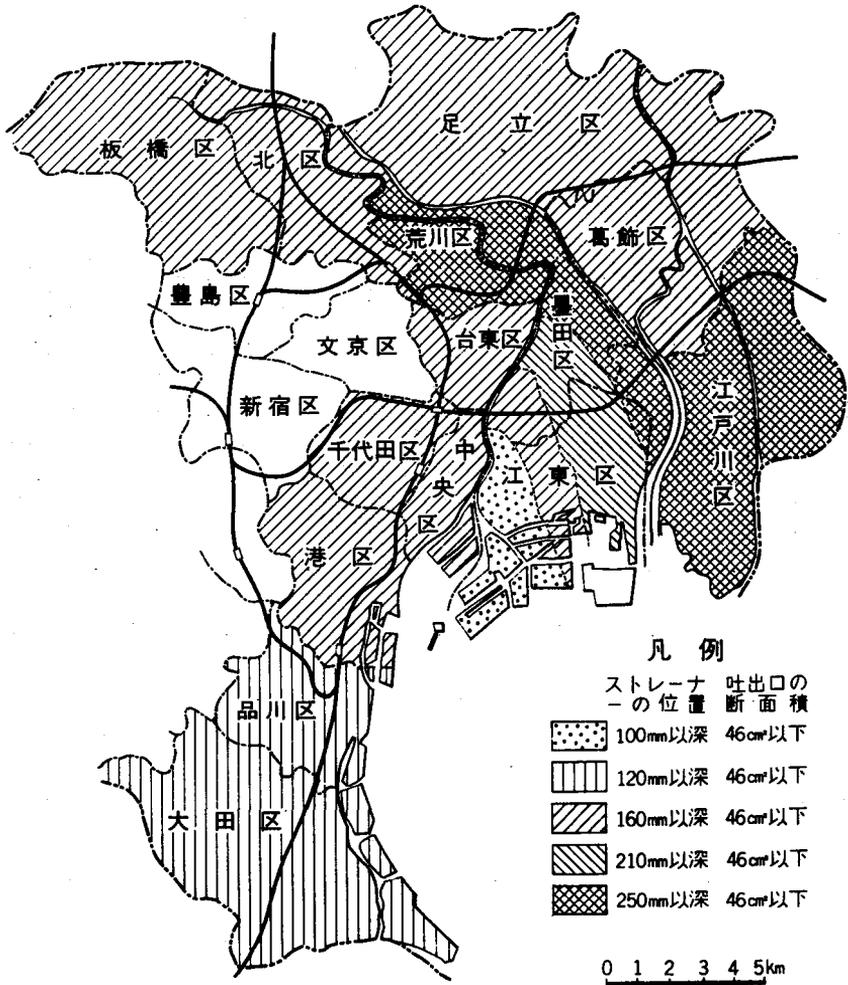
図2-2B 断面位置および影響圏





A 工業用地下水揚水規制区域

図2-3 東京および周辺地域の地下水揚水規制区域(1971年4月現在)



## B. 建築物用地下水揚水規制地域

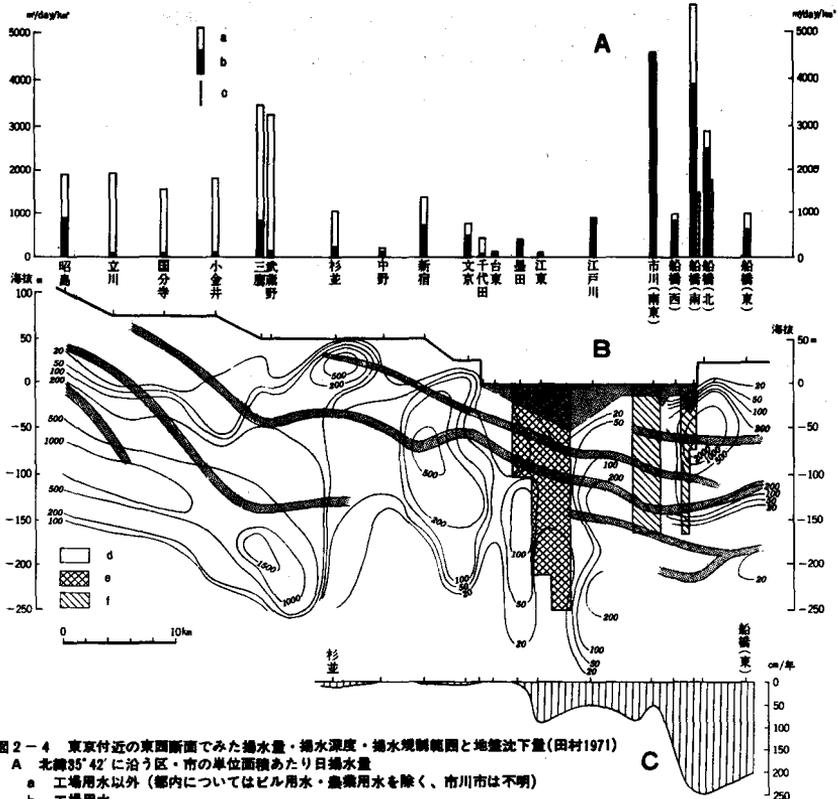


図2-4 東京付近の東西断面でみた揚水量・揚水深度・揚水規制範囲と地盤沈下量(田村1971)

A 北緯35°42'に沿う区・市の単位面積あたり日揚水量

a 工場用水以外(都内についてはビル用水・農業用水を除く、市川市は不明)

b 工場用水

c 天然ガス(船橋市以外は不明)

B 深度別単位面積あたり日揚水量と工業用水規制範囲

上端の太線は簡略化した地形断面、下の等値線はAと同じ期間の天然ガス・ビル用水以外の揚水量の深度分布を示し、単位は $m^3/day/km^2$ ・市川市については深度別揚水量不明。

d 洪積層・第三系 中の主な帯水層およびいわゆる沖積層

(中野・門村・松田1968,成瀬・新橋・羽鳥1968,新藤1968,貝塚・菊地1969,杉原1970に基づき、簡略化)

e 61年1月以降の工業用水規制地域とその深度

f 70年10月

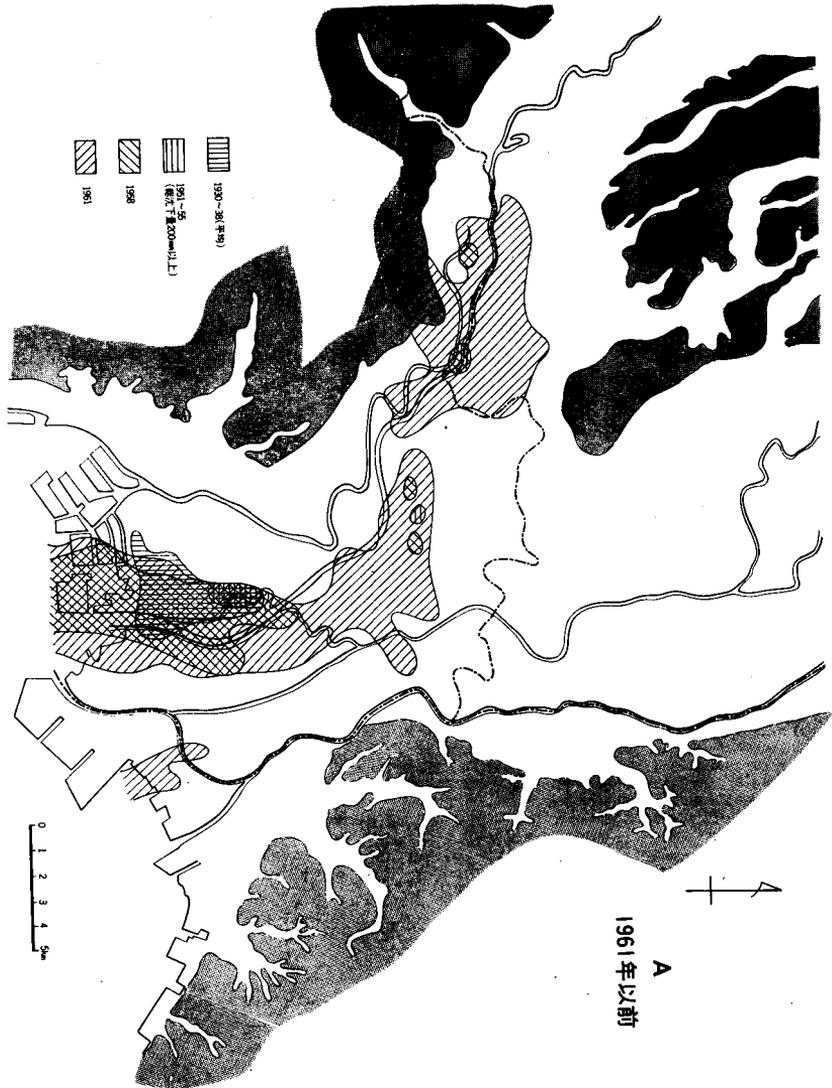
C 年間地盤沈下量(69年2月~70年1月)

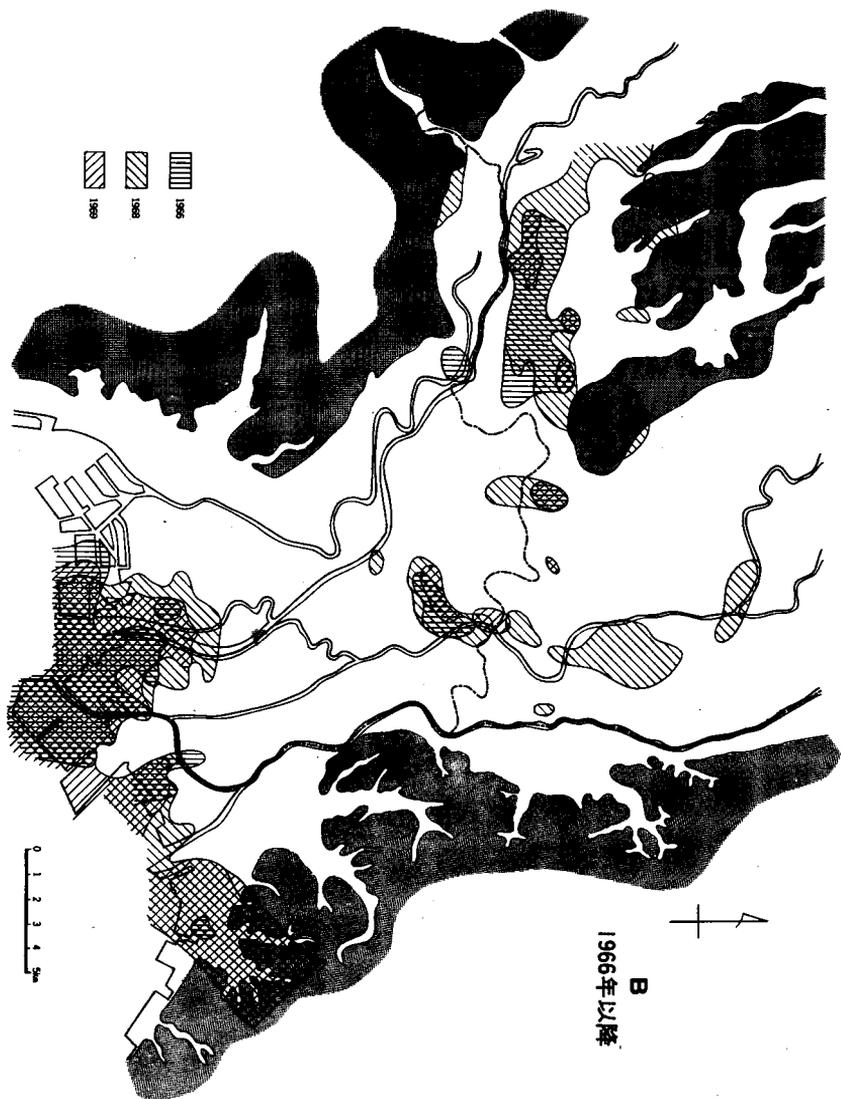
北緯35°42'に沿う幅2kmの帯内の最大沈下量を投影したもの

(関東地区地盤沈下調査測量協議会1970に基づく)

A~Cとも水平位置は共通。

図 2-5 東京低地とその周辺地域の地盤沈下中心地域  
(100mm/年以上沈下地域)の変遷







B パイピングの場合

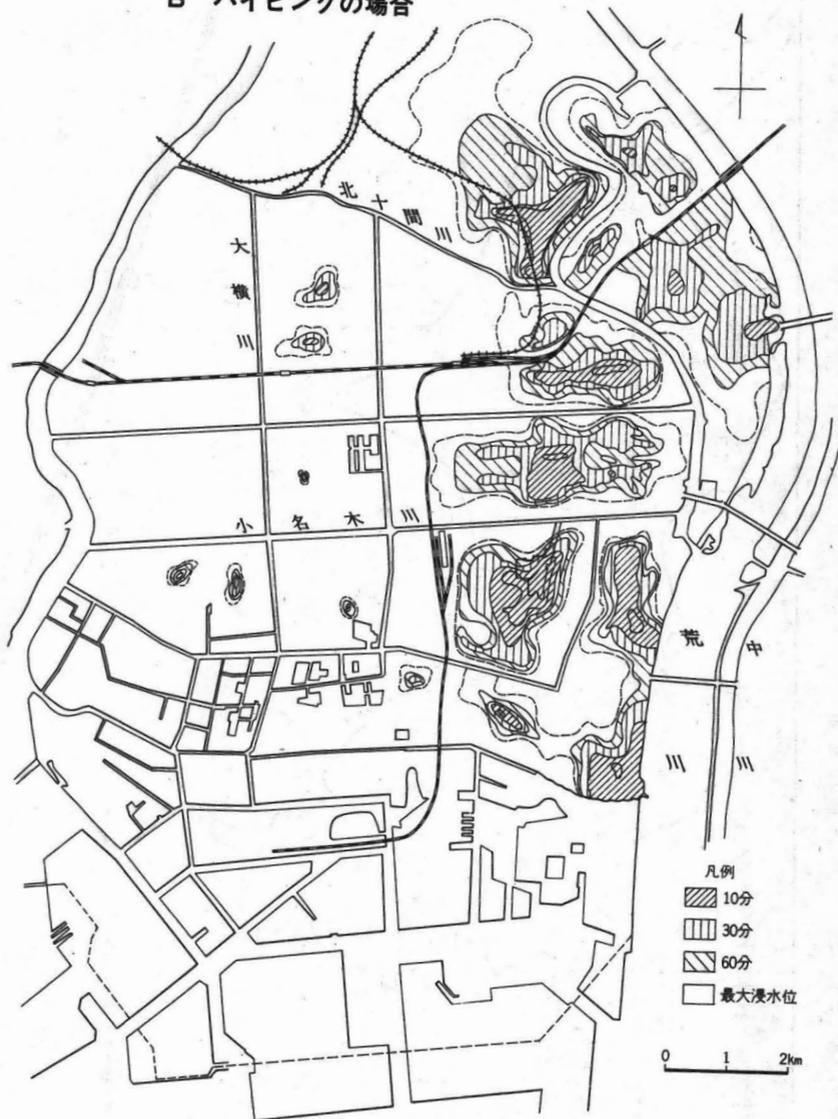


図2-7 南海地震による地盤変動量

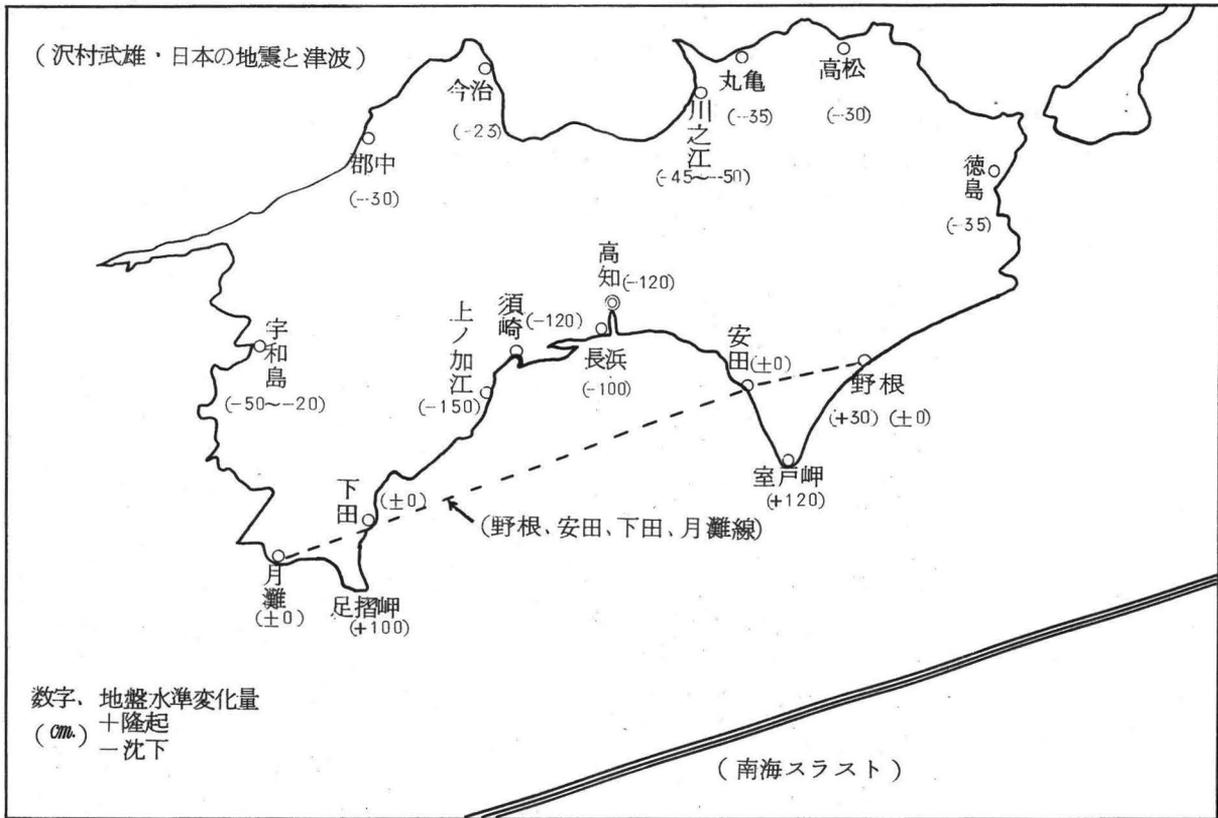


図2-8 高知市付近の地下水の塩素イオン量 (甲藤ほか, 1968)

単位 mg/l

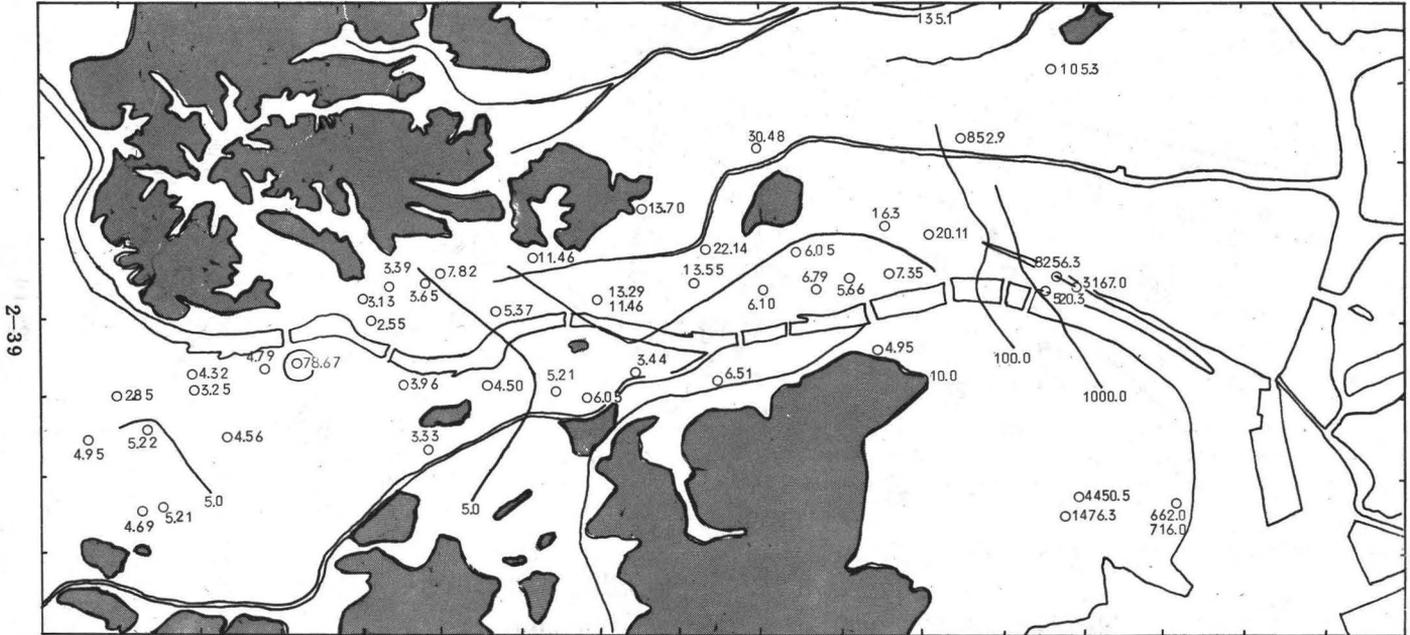


図2-9 断面位置および観測井の位置

1 ; 150 m 以浅の観測井, 2 ; 150 m 以深の観測井,  
3 ; 断面の位置

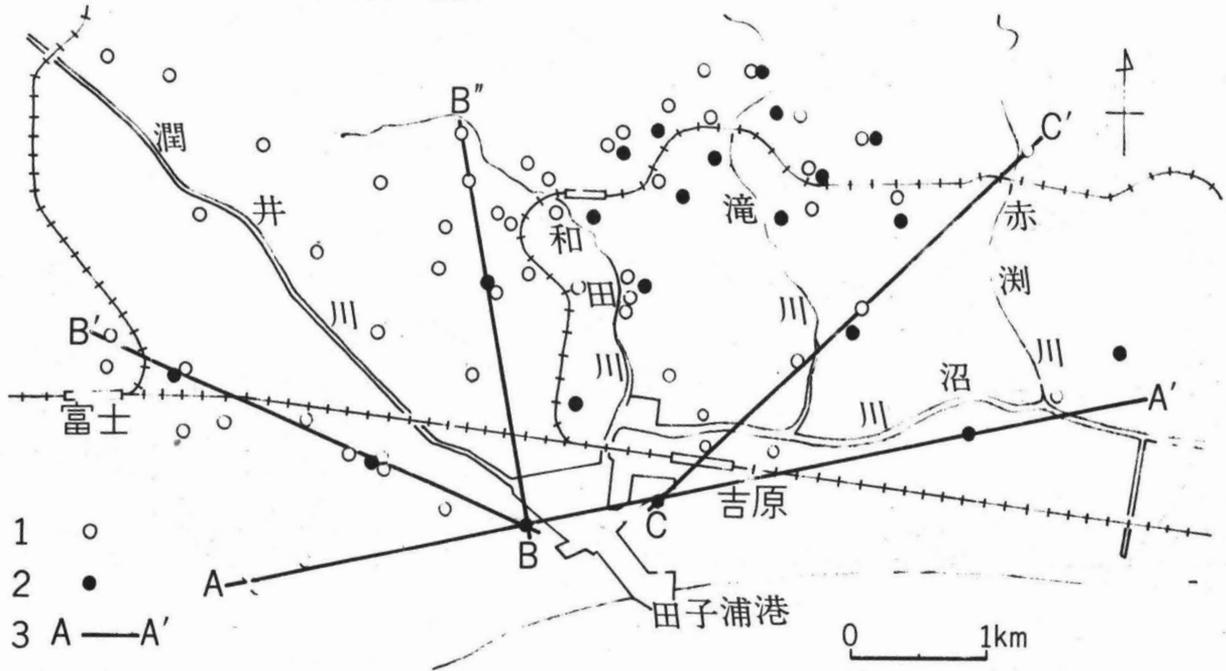


図2-10 帯水層別の塩水化の状況

A ; 廃止井, - ; 資料欠, I ; 第1層, II ; 第2層  
III ; 第3層, IV ; 第4層

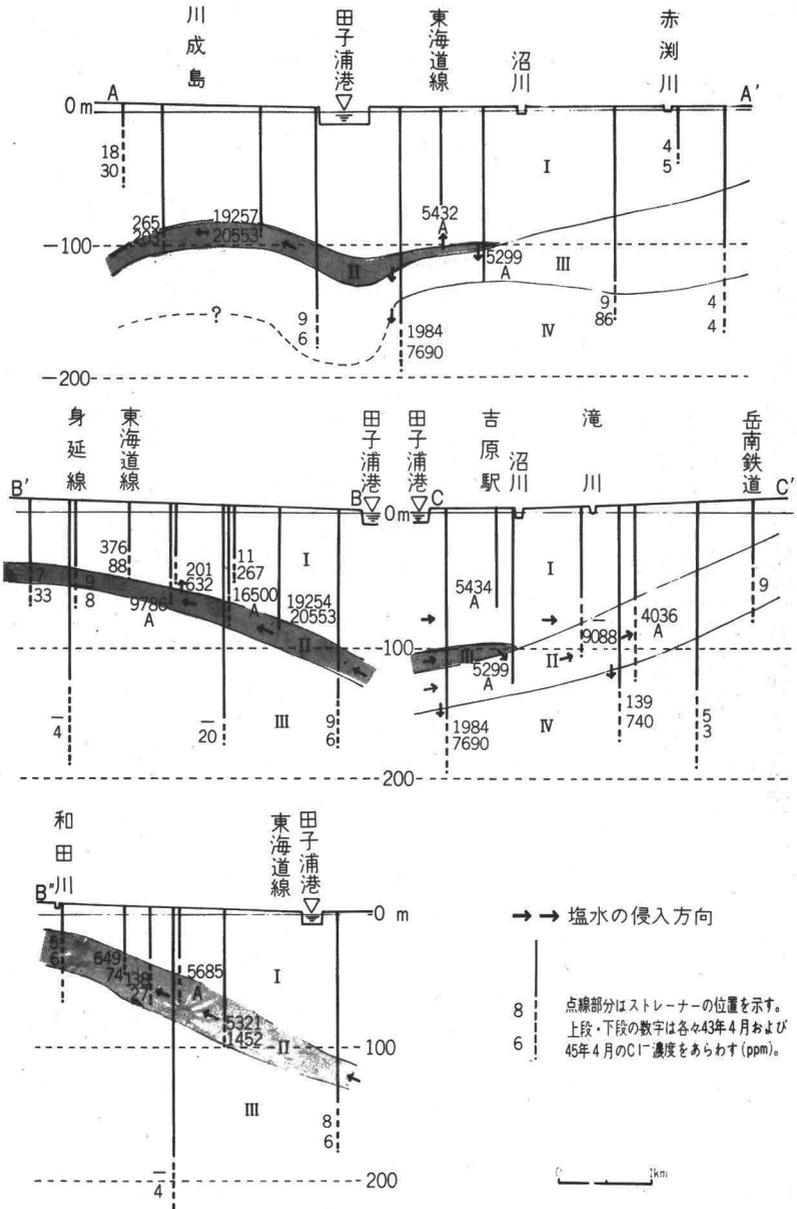


図2-11 熔岩層下限の示す起伏と塩水化の拡大

1 ; 熔岩層下限の示す起伏をあらわす地下等高線, 数字は海面よりの深さ(m)を示す。  
 2 ; 塩水化の前線 (Cl<sup>-</sup>濃度 300 ppm の等値線), 40.4は40年4月を示す。3 ; 熔岩層の分布限界, 4 ; 最初に塩化水の発見された井戸

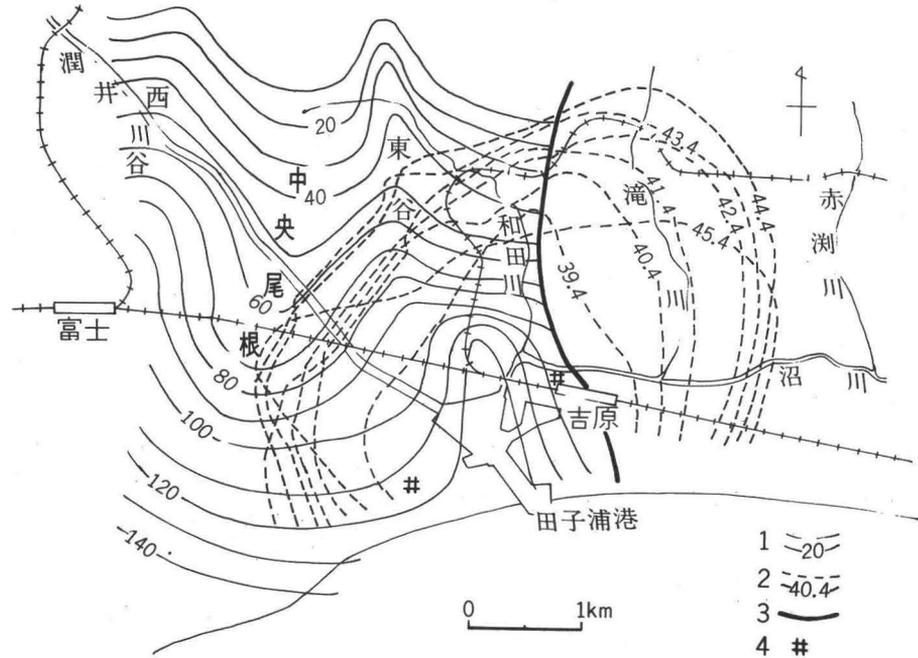


図 2 - 12 岳南地域の水使用量の推移(著者推計)

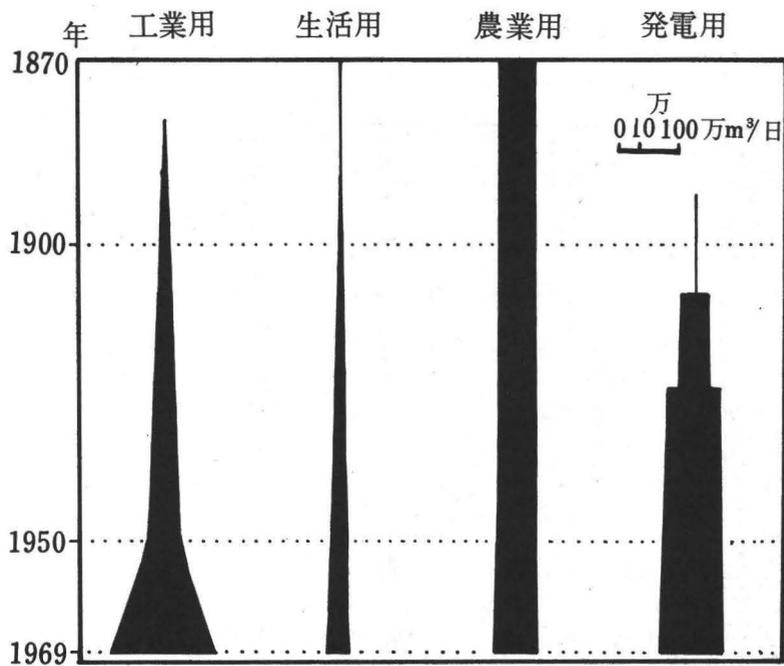
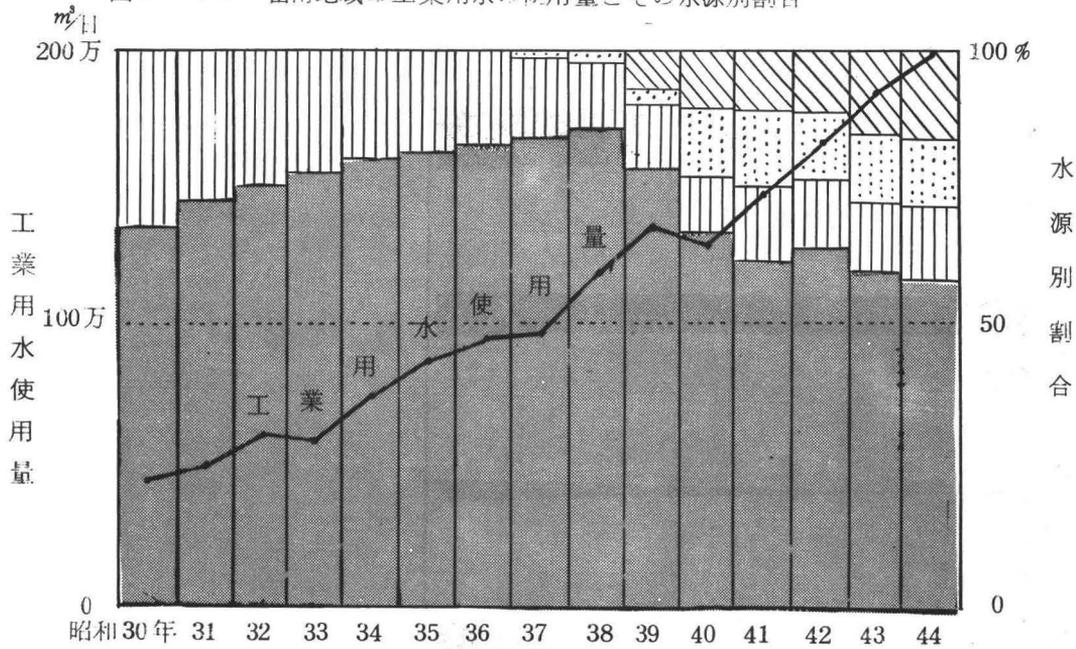


図 2 - 1 3 岳南地域の工業用水の使用量とその水源別割合



富士市資料による。37年以前は著者推計

凡 例



地下水



地表水および湧水



工業用水道および上水道



回収水

図 2-14 東京低地とその周辺地域の0メートル地帯の拡大

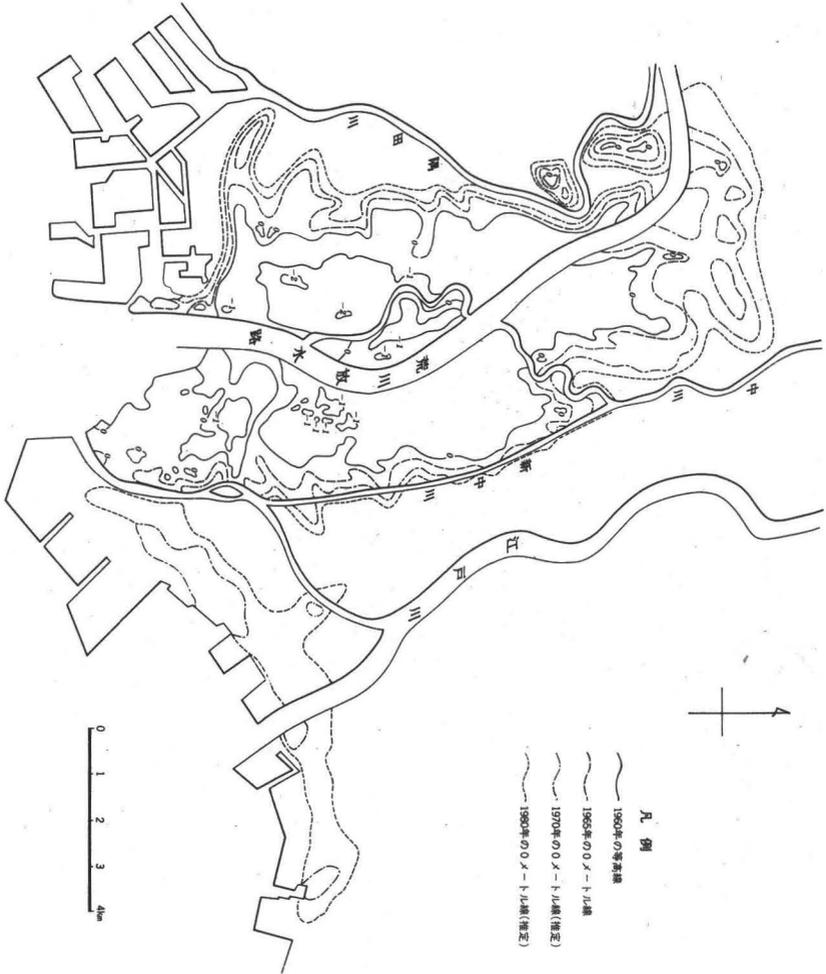


図 2-15 東京低地東部の洪水水理の変化(東京都防災会議, 1968)



図 2-16 東京湾に予想される津波の波高

( 東京都防災会議, 1970 )

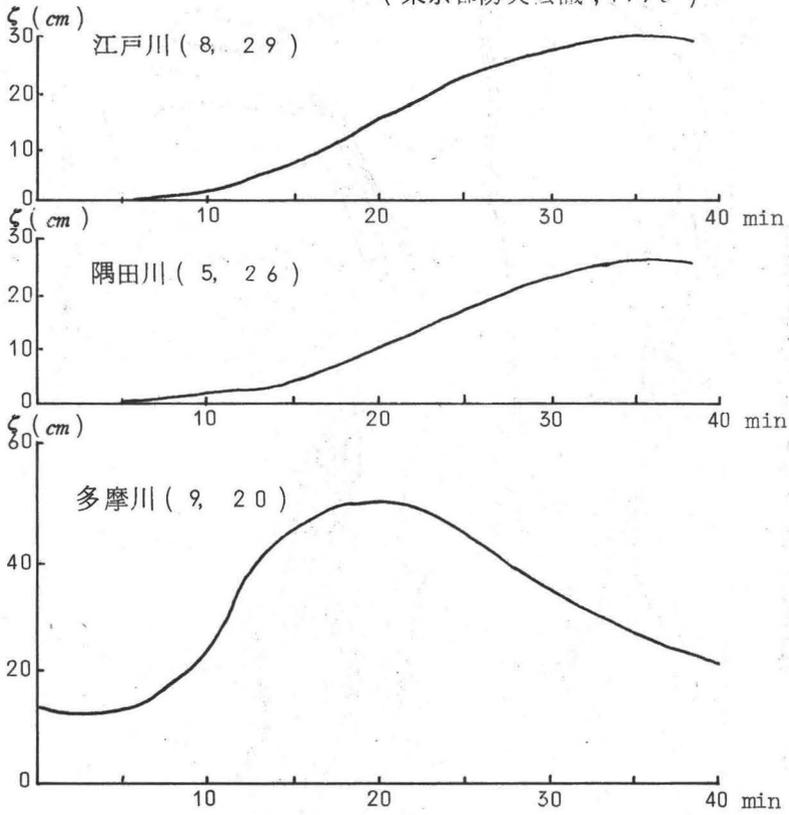


図 2 - 17 高知平野の基盤等深線図

(単位 m)

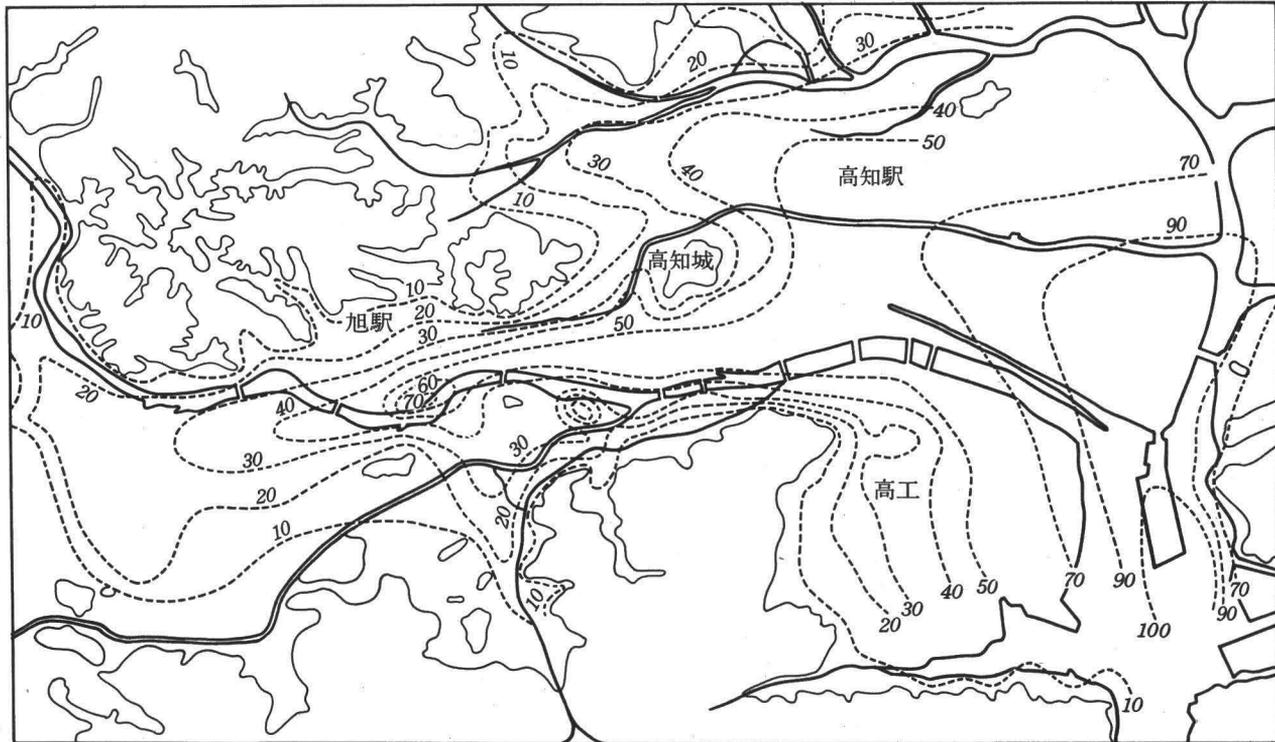


図 2 - 18 高知平野の沖積層基底地下等高線図

(単位 m)

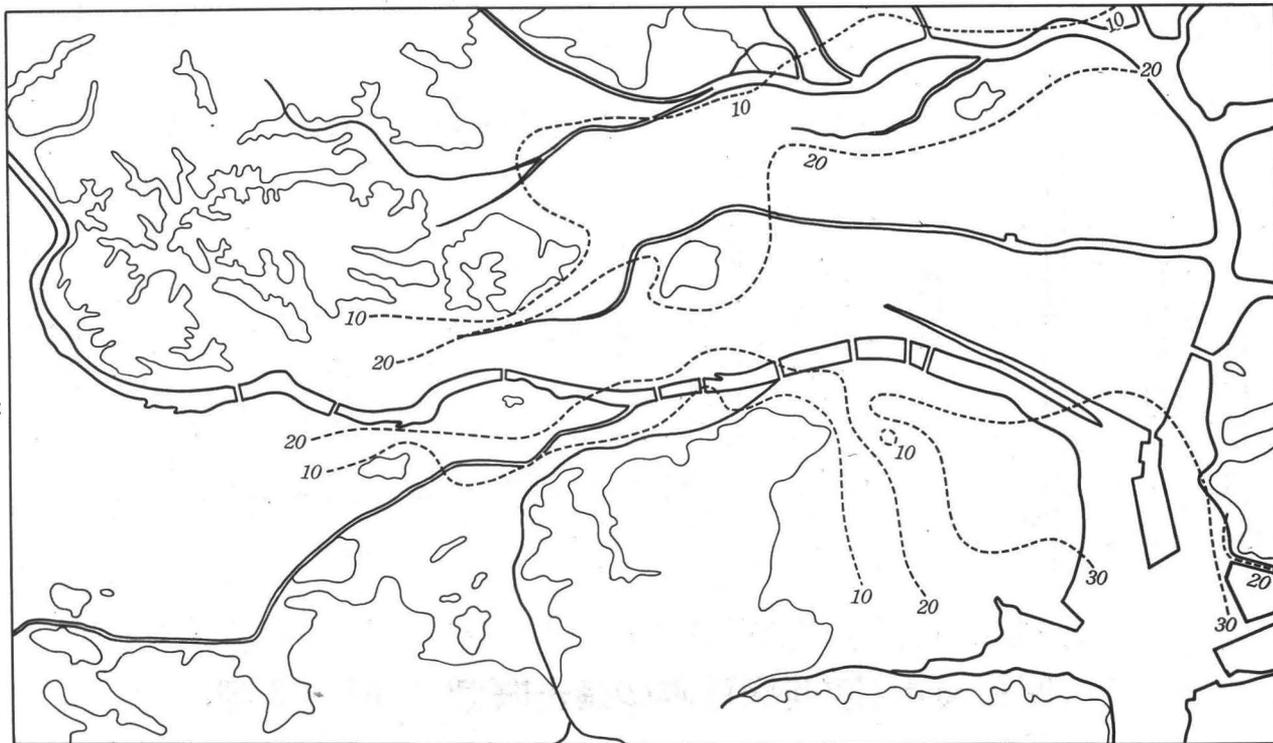


図 2 - 19 高知平野の地質断面図(東西方向)

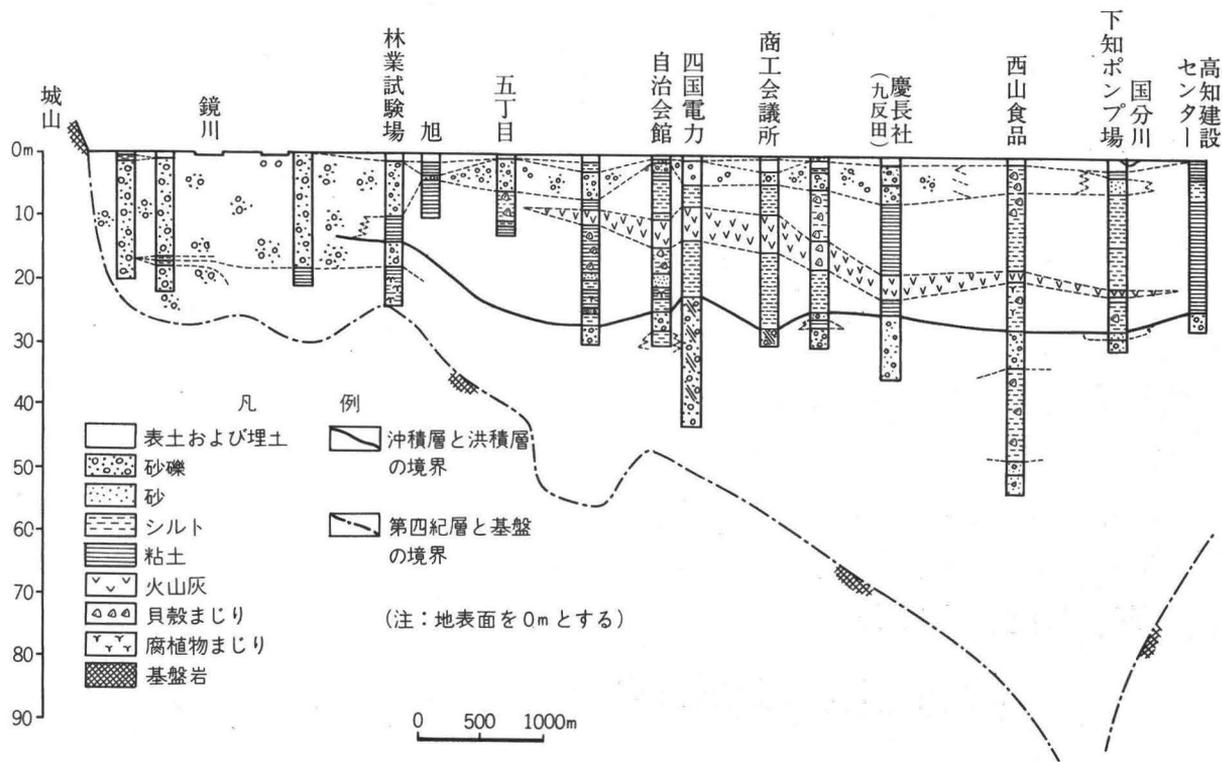


図 2 - 20 高知平野の地質断面図  
(南北方向)

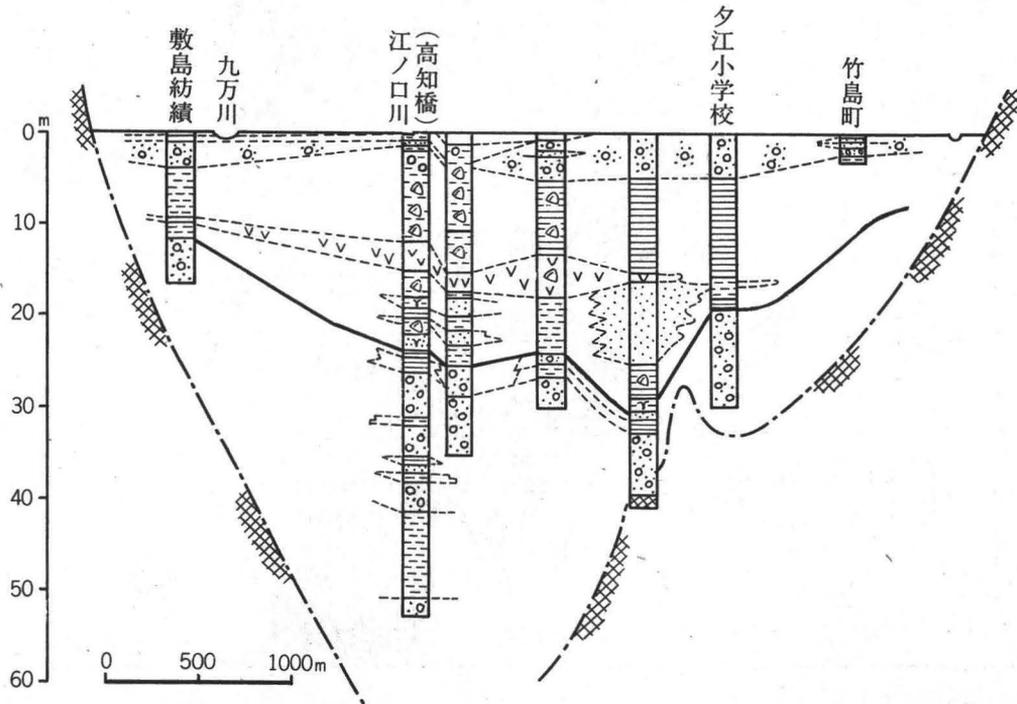


図2-21 高知平野の地形分類図

凡例説明

- 凡
- 1 
  - 2 
  - 3 
  - 4 

- 例
- 5 
  - 6 
  - 7 

- 1; 山地
- 2; 三角州
- 3; 三角州の中で冠水しやすい地域
- 4; 扇状地および自然堤防
- 5; 人工平坦地
- 6; 山頂および山腹緩斜面
- 7; 被覆砂丘

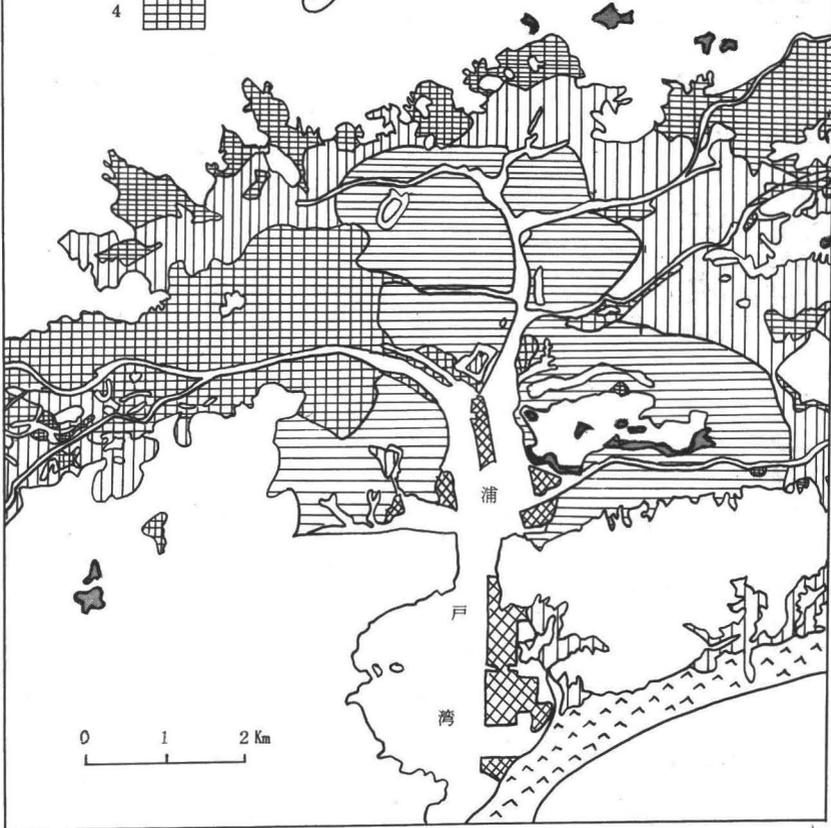


表2-1 葛南地域の水溶性天然ガス採取会社（1970年現在）

会 社 名	井 戸 数
ドリリング工業	15本
京 葉 ガ ス	6
船橋ヘルスセンター	2
東洋天然ガス工業	2
計	25

表2-3 船橋地区用途別主要揚水深度

工場用水	30~150m
農業用水	100~160
天然ガス	900~2,000

表2-2 船橋市の地区別用途別日揚水量

(1970年4月現在)

地区	地形	面積 (Km <sup>2</sup> )	総揚水量 (m <sup>3</sup> /日)	面積当り 総揚水量 (m <sup>3</sup> /日/100)	用途別揚水量 (m <sup>3</sup> /日)					
					工場	ビル	公衆浴場	宅造地専 用水道	農業用水	天然ガス
南部	海岸低地	6.4	44,581	6,966	24,617	10,747	743	0	0	9,378
東部	一部谷底低地	4.88	47,785	979	31,073	2,527	934	2,195	8,446	0
北部	谷底低地	6.7	30,660	2,848	16,410	292	170	0	2,105	11,683
西部	海岸低地・一部谷底低地	10.3	9,756	945	7,715	1,553	488	0	0	0
全市		72.2	132,782	1,839	78,915	15,115	2,335	2,195	10,551	21,061

再 掲

南部のうち湊町・南本町	0.84	3,181	3,787	398	50	114	0	0	<u>2,619</u>
北部のうち夏見	2.77	11,750	4,242	230	22	170	0	2,105	<u>9,223</u>

表 2-4 船橋および浦安地区の観測井における層別収縮量 (船橋—浦安地区)

浦安地区観測井 (浦安中学校)

	1966		1967		1968		1969	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	
0~60 m	43.05	61.9	40.36	64.7	42.63	52.6	35.20	
60~150	3.94	5.7	7.21	11.5	2.62	3.2	3.62	
150~220	0.02	0.03	1.10	1.8	(+1.43)	( 1.7)	(+1.55)	
220m以深	22.50	32.4	13.70	22.0	37.20	45.9		
総沈下量	69.51	100.0	62.37	100.0	81.02	100.0		

沖積層基底深度 約 60 m

船橋地区観測井 (湊小学校)

	1968		1969	
	mm	%	mm	
0~60 m	1.50	1.0	0.30	
60~200	0.33	0.2	6.24	
200m以深	147.40	98.8		
総沈下量	149.23	100.0		

沖積層基底深度 約 10 m

表2-5 船橋・市川地区の主要水準点の経年変動

上段：標高(m)、下段(イタリック)：1年間(最後の欄は半年間)沈下量(mm)

水 準 点		66年2月	67年2月	68年2月	69年2月	70年2月	70年8月	0mに達する であろう年月
低 交 地	3827 習志野市谷津国道沿	4.3070 <i>21.1</i>	4.2813 <i>25.7</i>	4.2664 <i>14.9</i>	4.2251 <i>41.3</i>	4.1783 <i>46.8</i>		年月
	F-18 船橋競馬場		2.1124	2.0896 <i>2.28</i>	2.0316 <i>58.0</i>	1.9607 <i>70.9</i>		1999 8
	F-11 船橋ヘルセンター	2.1473 <i>46.6</i>	2.0898 <i>57.5</i>	2.0187 <i>71.1</i>	1.8958 <i>12.29</i>	1.7570 <i>138.8</i>		1982 8
	3826 船橋大神宮前	4.3010 <i>69.4</i>	4.2204 <i>80.6</i>	4.1238 <i>96.6</i>	3.9781 <i>145.7</i>	3.8059 <i>172.2</i>	3.6914 <i>114.5</i>	1986 9
	79 船橋駅前交差点	4.9383 <i>84.4</i>	4.8493 <i>89.0</i>	4.7447 <i>104.6</i>	4.5790 <i>165.7</i>	4.3912 <i>187.8</i>	4.2614 <i>129.8</i>	1987 1
	F-8 船橋市役所	0.1533 <i>110.6</i>	0.0481 <i>105.2</i>	-0.0878 <i>135.9</i>	-0.2790 <i>191.2</i>	-0.5020 <i>223.0</i>	-0.6501 <i>148.1</i>	[1967 6]
	F-6 船橋市海神町3丁目	1.9033 <i>117.5</i>	1.8047 <i>98.6</i>	1.6952 <i>109.5</i>	1.5139 <i>181.3</i>	1.3195 <i>194.4</i>	1.1916 <i>127.9</i>	1975 4
	F-7 船橋市栄町3丁目	2.0700 <i>99.5</i>	1.9828 <i>87.2</i>	1.8715 <i>111.3</i>	1.7041 <i>167.4</i>	1.5238 <i>180.3</i>	1.4064 <i>117.4</i>	1976 8
	F-9 湊中学校	1.7869 <i>128.7</i>	1.6751 <i>111.8</i>	1.5401 <i>135.0</i>	1.3449 <i>195.2</i>	1.1278 <i>217.1</i>	0.9872 <i>140.6</i>	1974 2
	F-5 船橋市西浦東亜石油	1.5892 <i>45.1</i>	1.5502 <i>39.0</i>	1.4962 <i>54.0</i>	1.3810 <i>115.2</i>	1.3195 <i>194.4</i>	1.1798 <i>77.2</i>	1978 3
	I-21 市川市二俣新町	2.4594 <i>61.2</i>	2.4059 <i>53.5</i>	1.9756 <i>68.6</i>	2.1846 <i>148.5</i>			1983 10
	I-19 市川市高谷新町	1.8689 <i>125.5</i>	1.7891 <i>79.8</i>	1.6815 <i>107.6</i>	1.5562 <i>125.3</i>	1.4568 <i>99.4</i>	1.4022 <i>54.6</i>	1983 6
	3825 船橋市海神大覚寺	6.2278 <i>51.1</i>	6.1692 <i>58.6</i>	6.0932 <i>76.0</i>	5.9405 <i>15.27</i>	5.7757 <i>164.8</i>	5.6639 <i>111.8</i>	1996 1
	3824 船橋市西船葛飾神社	5.6386 <i>16.8</i>	5.6202 <i>18.4</i>	5.5979 <i>2.23</i>	5.5361 <i>61.8</i>	5.4708 <i>65.3</i>	5.4176 <i>53.2</i>	
9843 船橋市印内町県道沿	1.6295 <i>18.1</i>	1.6020 <i>27.5</i>	1.5619 <i>40.1</i>	1.4695 <i>9.24</i>	1.3677 <i>101.8</i>	1.2890 <i>78.7</i>	1978 10	
台 地	F-12 船橋中学校	17.4099 <i>46.8</i>	17.3464 <i>63.5</i>	17.2447 <i>101.7</i>	17.0649 <i>179.8</i>	16.8224 <i>24.25</i>	16.6878 <i>134.6</i>	
	F-13 海神中学校	15.4415 <i>40.2</i>	15.3911 <i>50.4</i>	15.3169 <i>74.2</i>	15.1858 <i>131.1</i>	15.0123 <i>173.5</i>	14.9064 <i>105.9</i>	
	F-14 塚田小学校	19.3238 <i>25.1</i>	19.2918 <i>32.0</i>	19.2532 <i>38.6</i>	19.1811 <i>7.21</i>	19.0949 <i>86.2</i>	19.0258 <i>69.1</i>	

表2-6 船橋地区における1970年2月1日～  
8月1日間の変動の大きな水準点

F-8	(船橋市役所)		148.1 mm
F-9	(湊中学校)		140.6
F-16	(東町不動院)	米	139.8
F-12	(船橋中学校)	米	134.6
10889	(夏見駐在所)	米	134.1
79	(船橋駅前交差点)		129.8
F-66	(海神町清水建設)		127.9
F-32	(南本町団地)		127.2

(米は台地上)

表2-7 船橋地区における天然ガス採取自主規制内容

(通産省 1970.9.16)

地区	範囲 (船橋市役所 を中心として)	年間減産率
A	半径 1km以内	50%
B	" 1~2km	30%
C	" 2km以上	10%

表 2-8 新潟における天然ガス業者の規制内容

規 制 地 域		規 制 内 容
A 地域	新潟市市街地	水溶性天然ガス採取の禁止
B 地域	A 地域から 5 Km 以内	G <sub>6</sub> 層以浅の排水禁止 G <sub>7</sub> 層以深の排水は従来の実績を越えない。
C 地域	A 地域から 10 Km 以内	G <sub>3</sub> 層以浅の排水禁止 (自主規制内容) G <sub>4</sub> 層以深の排水は従来の実績を越えない。

表 2-9 東京低地の深度別日揚水量

単位 m<sup>3</sup>/日

区 名	50m 以浅	50~ 100m	100~ 150m	150~ 200m	200~ 250m	250m以深	総揚水量
足立区	968	7,349	15,154	18,240	16,077	9,575	67,363
葛飾区	1,268	6,839	13,245	14,930	7,849	18,850	62,981
北区	253	7,128	9,012	20,414	23,472	37,489	97,778
台東区	166	20	184	266	0	0	636
千代田区	8	879	2,906	463	56	0	4,312
中央区	44	700	1,025	0	0	0	1,769
墨田区	439	168	1,669	1,553	935	370	5,134
江東区	130	579	1,087	124	0	0	1,920
江戸川区	485	4,152	12,324	2,096	10,273	8,464	37,728

資料は東京都首都圏整備局によるアンケート調査による。工場、集団住宅、上水道、病院、学校を調査対象とし、回収率はほぼ70%。日揚水量は昭和43年7月1日から、昭和44年6月30日までの1年間の総揚水量を揚水日数で割った値。

表2-10 江東デルタ地区の護岸の倒壊延長とパイピング孔数

(東京都首都圏整備局 1969)

区画番号	護岸延長(km)	欠壊部延長(km)	パイピング孔数	欠壊部数高(A.P.)
1	5.86	0.59	117	-0.50
2	3.58	0.36	72	2.00
3	5.46	0.55	109	1.50
4	6.32	0.63	126	0
5	5.36	0.54	107	-0.50
6	4.05	0.41	81	2.00
7	3.73	0.37	75	1.50
8	5.30	0.53	106	0
9	4.22	0.42	84	1.50
10	3.63	0.36	73	1.00
11	4.74	0.47	93	0.50
12	3.94	0.39	79	1.50
13	3.90	0.39	78	1.50
14	8.51	0.85	170	0.50

関東地震程度(大きさ  $M=8.0$ ) の地震に襲われた場合の被害予想。

表2-11 東京低地の用途別日揚水量

単位  $m^3$ /日

区名	工場用水	集住宅用水	上水道用水	病院用水	学校用水	総揚水量
足立区	64,499	846	1,800	218	0	67,363
葛飾区	62,897	0	0	84	0	62,981
北区	90,226	2,494	4,300	21	737	97,778
台東区	516	0	0	0	120	636
千代田区	472	0	0	637	3,203	4,312
中央区	1,769	0	0	0	0	1,769
墨田区	5,134	0	0	0	0	5,134
江東区	1,920	0	0	0	0	1,920
江戸川区	37,582	0	0	143	3	37,728

資料は表2-10と同じ

表 2-12 足立区および葛飾区の工場用井戸のさく井年次  
とその日揚水量

単位  $m^3$ /日

さく井 年次	足立区		葛飾区	
	井戸本数	日揚水量	井戸本数	日揚水量
30	7	1,180	6	1,427
31	9	3,568	3	793
32	7	4,544	10	2,168
33	8	1,579	8	3,735
34	10	6,108	6	2,735
35	11	6,009	6	2,172
36	17	5,803	11	7,083
37	14	5,400	8	5,090
38	21	12,204	15	9,405
39	2	2,037	4	1,301
40	4	418	4	3,010
41	3	415	8	2,871
42	4	608	9	2,909
43	6	1,709	8	3,128
44	5	2,130	4	1,233

資料は表 2-10 と同じ

表2-13 高知市における1970年10号台風による被害

	合 計		全 壊		流 失		半	
	世帯数	人 員	世帯数	人 員	世帯数	人 員	世帯数	人 員
計	37,143	114,687	388	1,104	2	5	13,530	
(小計)	(25,454)	(74,706)	(200)	(540)	(2)	(5)	(11,872)	
旭 街	1,099	3,369					226	
上 街	717	2,282					97	
小高坂	1,057	3,185	10	31			90	
高知街	1,139	3,323	1	1			98	
江ノ口	6,260	18,229	21	60			2,591	
北 街	2,205	6,286	63	160			1,647	
南 街	1,514	4,251	2	6			1,129	
下 知	3,214	9,773	15	33			2,833	
潮 江	8,249	24,008	88	249	2	5	3,161	
(小計)	(11,689)	(39,981)	(188)	(564)			(1,658)	
朝 倉	1,924	7,286	30	96			86	
鴨 田	1,224	4,246	10	31			159	
初 月	2,375	7,938	4	12			37	
奏	468	1,476	5	20			27	
一 宮	2,073	6,641	19	43			26	
布師田	311	1,004	2	11			26	
高 須	466	1,585	35	107			360	
五台山	794	2,883	5	17			173	
三 里	417	1,411	16	46			161	
浦 戸	468	1,560	33	92			35	
みませ	380	1,327	2	3			280	
長 浜	789	2,624	27	86			288	

(注) 現地調査は8/25~8/31の間

(高知市ゼロメートル地帯防災会議。1970)

壊	床上浸水		床下浸水		一部破損	
	世帯数	人員	世帯数	人員	世帯数	人員
0,918	4,163	2,748	5,964	18,158	13,096	41,754
(5,385)	(2,735)	(7,921)	(4,866)	(14,428)	(5,779)	(16,427)
702			2	9	871	2,658
287					620	1,995
264			87	261	870	2,629
295	122	341	693	2,029	225	657
7,620	1,384	3,965	1,935	5,723	329	861
4,607	127	414	302	963	66	142
3,231	183	504	122	333	78	177
8,685	187	549	94	288	85	218
9,694	732	2,148	1,631	4,822	2,635	7,090
(5,533)	(1,428)	(4,827)	(1,098)	(3,730)	(7,317)	(25,327)
268					1,808	6,922
523					1,055	3,692
151			520	1,850	1,814	5,925
78	402	1,263	31	102	3	13
81	54	175	245	691	1,729	5,651
94	24	74	37	148	222	677
1,209	3	10			68	259
604	429	1,572	41	146	146	544
525	119	409	81	277	40	154
111	172	551	37	109	191	697
999	5	17	35	118	58	190
890	220	756	71	289	183	603

表 2-14 高知市付近低地部の水準点の変動量

水準点番号	等級	昭和28年平均値 (昭和22年実測)	昭和44年平均値 (昭和39年実測)	変 動 量
5001	1	<sup>m</sup> 5.9172	<sup>m</sup> 5.9970	+0.0798
5002	1	3.0067	3.0819	+0.0752
5003	1	0.5003	0.5717	+0.0714
5004	1	1.2622	1.3294	+0.0672
5181	1	4.0055	4.0967	+0.0912
5182	1	0.7789	0.8665	+0.0876
10880	1	1.6322	1.6520	+0.0198

表 2-15 東京低地の0メートル地帯の拡大

単位 Km<sup>2</sup>

年	面 積	出 典
1959	Ca. 3.8	中 野
1960	35.2	都 土 木 技 研
1961	36.3	都 土 木 技 研
1962	37.1	都 土 木 技 研
1963	41.2	都 土 木 技 研
1964	44.2	都 土 木 技 研
1965	45.3	都 土 木 技 研
1966	50.2	都 土 木 技 研
1967	57.6	都 土 木 技 研
1968	57.8	都 土 木 技 研
1969	64.1	都 土 木 技 研

表2-16 高知市における農地の水準点の変動

測点No	昭和26年真高	昭和27年真高	昭和28年真高
コ32		<sup>m</sup> 4.2375	<sup>m</sup> 4.2104
コ31		1.3785	1.3719
コ30		1.9740	1.9889
コ29		2.4800	2.4664
コ1	<sup>m</sup> 2.0092	1.9995	1.9844
コ2	0.5747	0.5715	0.5514
コ3	-0.8028	-0.7790	-0.7940
コ4	0.4772	0.5144	0.5218
コ5	-0.6036	-0.5770	-0.5963
コ6	0.5871	0.5887	0.5941
コ7	6.1579	6.1319	6.1383
コ8	8.4962	8.5025	8.4818
コ9	1.7262	1.7512	
コ10	1.1431	1.1603	1.1479
コ11	5.5701	5.5910	5.5797
コ12	1.7681	1.7942	
コ13	11.2642	11.7701	11.2506
コ14	9.8321	9.8484	9.8197
コ15	3.1314	3.1389	
コ16	7.4196	7.4399	7.4361
コ17	11.0539	11.0606	11.0636
比島三角点		0.0635	0.0446

### 第3章 東京下町における構造物の耐震問題

#### 1. 構造物の地震被害と地盤の関係について

地震時に構造物が被害を蒙る原因を大別すると凡よそ次の様である。

(1) 地盤の振動との共振による場合

(2) 地盤の変動、性状変化による場合

(2)-1 地すべり、地表の不規則変動、地割れ等に起因する場合。

(2)-2 地盤剛性の低下、圧密、砂質土の液状化現象等に起因する場合。

以上、簡単にまとめた構造物の震害原因とその様相について、東京下町の場合を考えてみる。

東京下町の地盤は広域に亘つて軟弱な沖積層が推積し、その厚さも大きい。殊に海岸部や荒川沿いは30m乃至40mに達している。

したがって地盤の卓越周期は山の手地域に較べて長い。大正12年の関東大地震の際、下町では木造家屋の被害が山の手に比しはるかに多かつた。その理由として木造家屋は煉瓦造、石造に比し固有周期が長く、層厚大なる軟弱沖積層のために優勢となつた長周期地震動と共振作用を起したためと説明され、上記の(1)の場合に相当する。このような共振による場合、構造物の破壊程度は大破壊の様相を呈することが多い。

一方、前記(2)の原因による被害も少なくない。特に軟弱地域における剛構造物の被害は不同沈下、あるいは不同沈下による半壊の様相を呈する。関東大地震の際の下町の煉瓦造、石造、コンクリート造等の被害の多くは不安定な海成粘性土及び表層砂質土の性状変化による支持力低下に起因する。1964年新潟地震の際の新潟市における鉄筋コンクリート造構造物の大被害は砂質地盤の広範囲にわたる液状化が主原因であり、被害構造物の多くは構造的には無傷のまま大きく不同沈下を生じた。この震害状況は、構造設計に対する従来の考え方への重大な警告となつた。すなわち耐震工学の発達に構造物それ自身の耐震性を高めはしたが、地盤及び基礎に対する配

慮が欠けていた。現在においてもなお、基礎グイの設計の多くは鉛直支持力のみに対してなされているが、東京下町の多くの地域は常時地盤沈下が進行しており、その様な条件下にある支持グイ構造物は周囲地盤沈下のために、構造物下底と地盤面の間にすき間を生じている。この状態で地震をうけると、支持グイ頭部は大きな剪断力を負担せねばならず、上記設計条件による基礎グイは容易に破壊されてしまうであろう。

又地盤沈下地域における地下埋設管は常時、変形を強制されているが、地震時には上記の各種の強制力がそれに加算される。特に構造物との接続部は既往の地震の際、良質地盤地域においてさえ、しばしば破壊されている。

以上において既往の大地震における構造物の被害と地盤との関係、及び東京下町に於ける構造物基礎及び地中工作物の耐震性に関する具体的な問題点の例を示した。

このように構造物の耐震性は地盤や基礎構造との相互関係において論じなければならぬ。然るに地盤や基礎構造の動的性状は地上部構造のそれに比し一段と複雑でその解明は至難とされていた。しかし地震被害の多い軟弱沖積層地帯における構造物の耐震性の究明は東京その他の都市において重要課題として採り上げられてきた。一方最近に到り地下鉄、高速道路の建設工事が大規模に行われ、これらの工事に伴い多数のボーリング資料が系統的に得られるようになってきた。このような社会的要求及び都市開発に伴い地盤帯成が組織的に把握し得るようになりつつあることとあいまつて、次に列挙する研究側の体制は序々にこの複雑な問題を明らかにしてゆくであろう。

(I) 電子計算機の発達によりランダム波動を扱う振動方程式の解法が容易になつてきた。

(II) 主として地球物理学関係の諸学者の努力により、地中地震計の開発が一段と進み、計算と計測結果との比較検討が出来るようになってきた。

(Ⅲ) S波の発生手法並びにその計測、解析手法が研究開発された。

このようなすう勢の中で、各方面において地盤の振動性状の研究が取り組まれている。

筆者の研究室においても本研究の方向に沿うものとして次の如き研究報告を発表するとともに現在研究を継続している。

(1) 小高昭夫、望月利男他江戸川区研究グループ：江戸川区に於ける構造物の耐震性、

(2) 政尾享、杉本三千雄、石田昇：地盤、杭、建物連成系の伝達関数のモデル実験的研究、

(3) 三浦賢次：地震時杭に生ずる応力分布、

(4) 桑折能彦：地盤、杭、建物連成系の振動特性の理論的研究、

(5) 望月利男他：東京下町の各種地盤に対する一質点系のレスポンススペクトルの研究、

本研究室に於ける以上の研究は構造物の地震被害の原因を基礎、地盤との相互関係において解明し、現耐震設計法の弱点を補わんとするものである。

## 2. 東京下町地盤の地震時の特性について

### 2-1 周期特性と増巾特性

この節に於いて述べるものは主として上記筆者らの研究と節末に示す嶋氏(6)及び中野氏他(7)の研究報告による。

嶋氏は東京下町を横断する地質断面図をもととして、現在までに得られたS波の速度を用い、地震時に期待される卓越周期の図をつくつた。図は地盤の地震応答スペクトルの第1ピークから見出した第1次卓越周期のみならず第2のピークから見出した第2次の卓越周期の図も示している。これによると第1次卓越周期が長く1.6秒以上の地域は荒川と隅田川間の海岸沿いの区域及び荒川に沿つて帯状に北上して存在している。その地域の外側に1.2秒～1.6秒の地域が(7)に示めされている荒川東部の妙見島谷

沿い及び荒川西部に広く存在している。その他の荒川、隅田川に囲まれた地域及び江戸川区中部は大凡そ0.8秒～1.2秒、江戸川北部、丸ノ内、日本橋、銀座方面は0.4秒程度の処が多い。

第2次の卓越周期の値は第1次の値の約半となっており、例えば第1次の卓越周期の値が1.2秒の処は第2次の卓越周期が0.4秒になっている。一方筆者らの地盤の地震応答解析の研究結果では上記第1次卓越周期が1.6秒以上の地域では大凡そ1.0～1.8秒の地震波に対し、応答倍率 $\alpha$ =(地表振巾/沖積層下底への入力振巾)は4.5～5.0、1.2秒～1.6秒の地域では $\alpha=4.0\sim 4.5$ 、0.8秒～1.2秒の地域では $\alpha=3.0\sim 4.0$ 、丸ノ内その他0.4秒程度の地域ではこの1.0秒～1.8秒という長周期の地震波に対して $\alpha=2.5\sim 3.0$ と低い増巾特性を示したが、地震波の周期0.2秒～0.4秒の $\alpha$ は他地域に比し最も大きく大凡そ $\alpha=5.0\sim 5.7$ 倍に達した。以上の嶋氏の研究による地域区分と筆者らの研究結果の対応は計算条件等が若干異なるため、厳密に言えばそのままでは対応しない点もあるが、大凡そ東京下町の地盤の周期特性、増巾特性は上記の値程度といえる。

一方、関東大地震の震害の状況から考察するに前述の如く下町では木造家屋の被害が多かつたが、金井氏等によると中でも0.4秒の卓越周期付近に震害の極大があるとしている。これについて嶋氏は次のような内容を述べている。「第1次卓越周期が0.4秒である沖積層の厚さは10m前後であるからそれより沖積層の厚い処では共振の周期から外れるから、むしろ被害は小さくもよはずである。しかし現実に江東地区では、沖積層の厚さが30～40m近いのにもかかわらず大きな被害をうけている。沖積層の厚さが30mの処は第1次卓越周期は1.2秒で木造家屋の固有周期0.4秒とかけ離れているが第2次の卓越周期は0.4秒で木造家屋の周期と一致している。この2次の共振を考えると沖積層の厚さが30～40mで木造家屋の被害が大きいことの説明がつく。」

木造家屋に限らず低層の建物はその第1次固有周期は一般に0.4秒ある

いはそれ以下であるから丸ノ内、日本橋、銀座方面すなわち第1次卓越周期が0.4秒程度の地域では第1次共振で被害をうける。上記の如く下町の大部分の地域ではその第1次卓越周期は1.2秒～1.6秒であり、地盤の第2次卓越周期は0.4～0.53秒であるから、低層建物は2次共振で被害をうける。筆者らの行つた前記応答計算結果でも下町全般にわたり地震波の周期0.2～0.4秒の短周期に対し $\alpha=5.0$ 内外のピーク値が表われており、この値は丸ノ内等の $\alpha=5.0\sim 5.7$ に比較すればわずかに低い。すなわち、東京下町においては低層建物に対しては2次共振、比較的高層の10数階の建物に対しては1次共振が問題になる。

## 2-2 沖積砂質土、粘性土の振動性状

筆者らの江戸川区の研究(文献1)及び、地盤班、大崎順彦氏らの調査研究によれば、東京下町の沖積砂質土も地震時に液状化する危険のあることがわかつた。前者は江戸川区内で彩取した砂質土を種々の密度と上載条件で振動実験を行い、同方法で実験した新潟市の砂、豊浦の標準砂と比較した。その結果、江戸川区の砂層にはその粒度構成よりみて地震時に液化する可能性を有するものがあることがわかつた。しかしながら、その層厚、存在深さ等を考えれば少くとも新潟市の被害密集地域の砂層に比しその危険性の程度は同一規模の地震動に対しては少いと結論した。一方、後者は関東大地震の際の記録、試算、新潟地震の際の資料と江戸川区の砂質土の比較等から危険地域を地図上に示した。いずれにしても、一定規模以上の地震の際には東京下町の各所で砂層が液状化現象を生ずる危険性はある。

一方海成粘性土の地震時の性状についても筆者らは文献(1)の研究で、東京下町の高成シルトを彩取して振動実験を行つた。それによれば、200g $\times$ 1.50波加振による1軸圧縮強さの低下率は10%程度であり、又、剛性率の低下も15%程度とわずかであつた。

しかしながら東京下町の各地域の粘性土層の中には実験に供したシルトよりはるかに不安定な粘性土が存在する。大崎氏は鋭敏比により粘性土の

支持力に対する安全率を変えらるゝことを提案されたが、その鋭敏比でみて 1.5 以上の粘性土もかなり存在する。これらの不安定な粘性土が大地震時に塑性化あるいは流動化する可能性はあるといえよう。

以上砂質土及び海成粘性土の地震時の挙動について若干述べたが、現在の地盤振動解析の理論手法では土の塑性化後の性状を適切に導入して解析する事は困難であり、前記 2-1 の結果も弾性範囲、かつ粘性を無視した値である。粘性を導入すれば軟弱地盤における短周期の応答ピーク値はもっと下るはずであるが、その点については現在研究をつづけている。

(6) 嶋悦三：東京下町における地盤の振動性状、地震研究所彙報 vol 47、1969

(7) 中野尊正、門村浩、松田磐余：東京下町地層断面図、

### 3. 東京下町における構造物の振動特性について

#### 3-1 レスポンススペクトル解析

レスポンススペクトル解析は地震波等のランダム波の性質を調べ、耐震工学上、対象とする任意の固有周期の構造物の動的挙動を種々の地盤及び地層動に対し予測するために行つた。すなわち粘性減衰をもつ 1 質点系に各種の地震波を作用させた時の最大加速度、速度、変位等を求め、1 質点系の固有周期との関係で表わしたものである。結果を要約すれば、次のとおりである。

(i) 変位、速度、及びベースシャ-スペクトルのいずれに関しても短周期構造物(1 次固有周期 0.1~0.8 sec.) に対しては地盤の差異による各最大値の差異は明瞭には見出されないが、丸ノ内等地盤の良い地区が下町地区より大きな値となることがしばしば認められた。

(ii) 長周期構造物に対しては地盤による各最大値の差異がかなり明瞭に見出され、地盤の悪い地区(第 1 次卓越周期 1.6 秒以上)が最も大きく、以下 1.2 秒~1.6 秒の地区、0.8~1.2 秒の地区、丸ノ内等(0.4 秒)が最も小さい。

(iii) 速度スペクトルは、ある周期以上では応答値が一定化する傾向があり、地盤による差異も最も明瞭であるため、これに着目し、例として TAFT CALIF、1952 N-S地震に対するもので云えば大凡そ次のようである。短周期構造物については(1)で述べたとおりであるが長周期構造物(大凡そ1.0秒以上)に関しては、第1次卓越周期1.6秒以上の地区での応答値は丸ノ内地区等の値に対し20~30%増し、同じく1.2~1.6秒の地区では10~20%増し程度になっており、構造物の耐震設計に於いては、これを考慮する必要がある。

以上、レスポンススペクトル解析は東京下町における構造物の振動特性を極めて大づかみに把握するために行つたものであるが以下に若干構造物を具体的にモデル化し計算した結果等を示す。

### 3-2 地盤、杭、建物連成系の振動特性について

最近の傾向として江戸川区、江東区等の地盤の悪い地区においても土地の高度利用や防災の見地から10数階あるいは20階程度のかかなり高層なアパートその他の不燃建築が建ち始め、さらに近い将来の計画としてこの傾向が挿し進められていると聞いている。この程度の高さの建物の第1次固有周期は基礎固定として0.8秒~1.5秒位と考えられる。又、基礎は支持杭が一般には用いられよう。筆者等の研究室では文献(4)に於いて地上10階の建物を例として軟弱地盤中の支持杭の長さが10m、20m、30mのそれぞれの場合につき、建物の基礎固定と仮定した場合の第3次までの固有周期に対して杭を有する場合のそれがどの程度長くなるかを明らかにした。それによると杭長が増すにしたがい周期は長くなり、基礎固定時の数割から5割程度長くなる。基礎固定時の周期は比較的容易に算定できるので杭長による修正を行つて正確な値を求める。基礎固定の建物の1次固有周期を知つて2次以上の高次周期を推定する式は筆者の研究で

$$T_n = (0.7 \sim 0.8) T_1 / N$$

ここに

$T_1$  : 1次固有周期

$T_n$  : N次固有周期

N : 振動次数

という簡単な公式で求められる(文献(8))。こゝでも第1次周期に準じて杭長による修正を行う。かくして杭を有する建物の第1次、第2次固有周期を正確に推定する。

一方地盤の第1次、第2次の卓越周期は前述の如く明らかにされているから、両者すなわち構造物と地盤との周期がなるべく外れるよう配慮すべきである。

### 3-3 杭に生ずる地震時応力分布

前述せる如く支持杭の設計は一般に鉛直荷重を対称として行つており、地震時に杭に生ずる応力や土圧は明らかにされていない。そこで筆者等の研究室では数年前より任意波形発生振動台により、半無限弾性体と等価な土中の基礎杭の振動時の挙動を模型実験的に研究し、文献(2)、(3)に記している。すなわち文献(2)では地盤、杭、建物連成系の伝達関数を求め、その極と零点の移動を見て、地盤とのかねあいで杭本数、軸力、剛性等の適当な増減をはかる方法を見出し、文献(3)では種々なる軸力の加つた杭に生ずる振動時曲げモーメント、せん断力、土圧分布を求め、地震時に杭に生ずる曲げモーメント、せん断力は杭長30m程度の場合で杭頭からままでの部分に生じ、土圧はクイ頭付近が最も大きく、杭下端付近がこれに次ぐことがわかつた。

東京下町で杭基礎を採用する場合、鉛直荷重に対して考慮するだけでなく、地盤沈下による杭頭部付近が露出の状態で地震力をうける可能性が大きい事、地震時の杭の応力分布を考慮する必要がある。

(8) 田治米辰雄：重層建築物を質点系におきかえる場合のバネ常数比に關する研究。

日本建築学会論文報告集、57号1957、7、

## 4. 地下埋設管の問題点とその対策について

### 4-1 現行設計法の基本的問題点

既設埋設物は静止した土中に設置された管が平面状態にあるものとして、一つの断面内の応力解析によつて設計されている。いわば実際の条件をほとんど考慮することなく、仮空の条件に依存している。今までの事故例をみるとその多くは設計条件内の断面計算の面から検討しうるものではなく、現在の設計法において安全率を大きくすることによつて防げる種類のものでもない。このような設計方式が成立してきたのは、条件を単純化するモデル化の過程にあるのであるが、その際設計化しやすい要素のみを無意識のうちに完式化し、今までの力学系にあてはめにくい要素をタナ上げしてきたからである。この傾向は設計者と施工者の分断によつて加速された。これが地下埋設管の設計法の基本的な問題点であり、以下に若干具体的に現行設計法の問題点を示しその対策を考えてみる。

### 4-2 変形条件に関する問題

固体力学では力のつり合いが基本であり、応力によつて境界条件が与えられる場合が圧倒的である。そのことを背景としつゝ、地盤内において土の変形状態を表現する方法がないことから、周囲の土が管に及ぼす作用を力に換算して解析をすゝめざるを得ない。

コルゲートパイプのように特殊にたわみ性の大きい管では、明らかに変形量が規制要因となるが、他の場合は管に生じている応力を計算し、それを材料の性質によつて与えられる許容応力以内におさめようとする。しかし、管への作用力は管と周囲の土との相対変位によつて決るものである以上、現在の設計法のいう、荷重がわかれば管の応力が計算できるというのは何もいつていないに等しい。

荷重は土の性質がわかれば自動的に決るものとしてはなく、埋設条件、施工条件、地表の状態、地質条件等々によつて左右されている。したが

つて、土質力学的な意味では相対変位量が与えられた場合の管への截荷状態を知ること（地盤反力的なもの）になるが、その相対変位の大きさと性質を知る事は現在の力学系の中には包摂しないものである。

地震時には、たとえば、震度法は地震を力に変換するものであるが、地震の際の埋設管の挙動は、あくまでも土と管との相対移動であつて、それに力として耐える管の設計は無理であろう。応答による解析も地盤の定常的ランダム振動を問題として、地盤の全体的シフトは全く考慮に入れられていない。

以上、変形条件の設計への導入は現状では不明な点が多くほとんど不可能である。

#### 4-3 軸方向の問題

4-2 が特に問題になるのは長手方向の問題、すなわち管をビームとした取扱いである現在は接手に工夫がなされているが不十分なものである。連続支持の場合だけでなく点支持の場合でも、支持点相互の関係が不明確でビームとしての設計は仮空の条件によつていられる。地盤沈下などによる不同沈下によつて管の軸線は鉛直面内で彎曲するが、それを量的に推定する方法は現状ではないといえる。構造物との接合部では必ず段差が生じると考えられ、ジョイント等に特殊な工夫が必要であろう。たゞ、大口径の本管ではなくサービス管であることが多いので変形に対する適応性は得やすい。

地震時には鉛直面内でのずれと水平方向のずれが地盤内に生じ、地割れとなつて地表に現われる。地震力の位相のずれによつて、管は横波、縦波をうけることになる。このとき管に作用する土圧はそれほど増加しないと思われるし、地盤の振動も一応推定することは出来る。しかし、地盤に塑性変形が生ずる場合は、地盤内で管が泳ぐ状態と同じになり、設計荷重の数倍の力が作用する。多くの場合管は地盤とともに動いて破壊されるであろう。地割れをまたいで建つている構造物に生ずる明瞭な破壊の跡と同様

なことが当然土中で生ずる。このような局所的な有限変形に対し埋設管を設計する手段は当然考えられない。

#### 4-4 当面の対策

既設の埋設管について防護策を講じることは極めて困難であるが、新設管については次のことが考慮されねばならないであろう。

少なくともガス、石油などの可燃性流体や有毒物質の輸送系を市街地に建設する場合は不可欠である。

##### (1) 埋設の可否

用地取得の困難をさけるため、道路等の公共用地の下に安易に管路を設置することは考え直さねばならない。市街地の地中を危険物の貯蔵所にするのは極めて危険であつて、安全性を高めた設計、施工を行うなら、コストの上でも埋設した方が経済的かどうか疑問が多い。市街地の地下の意味を再検討して、安易な埋設は行すべきでない。

##### (2) 導洞方式の採用

管路の埋設は原則として導洞方式をとらねばならない。常時において過大な変位が生じていないかどうか、流体のもれやジョイント部の点検など定期的に行い、常時保守の完全を期するには、全線パトロール可能な状態に置く必要がある。地震時には当然不測の過大な変位が生ずる可能性が高いから、導洞の局部的破壊が管体に直接影響しないような支承方式を採用する。限度以上の力に対しては水平方向にずれることが可能であるとか、鉛直方向にもバネを介して支えるとかの工夫が必要となる。

##### (3) 設計と施工の一体化

すでに述べたような不確かさを抱えた埋設管に対して、設計の標準化、監督の画一化、施工の分断化をすゝめるならば、技術者の感覚と対象の挙動との距離は一層ひろがり、切りすてられた条件は必らず事故を呼び起すであろう。したがつて、設計者が現場で直接監督をし、施工者にあ

つては分断した下請を禁止して現場責任者が直営で工事を進めるようにしなければならない。

条件の数量化や基準の精密化によつて地下埋設物の安全を確保しようとするならば逆の結果を招くであろう。

現場を生きものとしてとらえ、設計方針と現場判断とのたえざる交流を確保することが必要である。

## 5. 東京下町における構造物の耐震設計に関する若干の考察

### 5-1 耐震工学的見地からの地階の意義

沖積層による地震波の増巾について若干前述した。それによれば地震基盤の振動に対し3～5倍程度であり、嶋氏は沖積層の厚さとは無関係に、洪積地盤が地表にでているところと比較すれば、ほぼ3倍程度になると述べている。何れにしても沖積層地表での構造物は洪積層地盤に対し3倍以上の応力や変形を予期して計画すべきである。

こゝで沖積層地盤において地下階を設けることの利害得失を耐震工学上の立場から論ずる。地階が1階だとその下底はGL-5m位、2階だと-8m～-10m位になる。したがつてそこでは地震波の増巾がそれ程大きくつてはいない。特に短周期地震波の増巾は地表付近において著しいことが筆者らの研究でわかっている。この点からいえば地階を設けることは有利である。又、構造物の振動減衰性が一般に構造物地下部が深い程大きいという利点もある。一方地下部が深くなると増巾された地震波が側方より多く入力するようになり不利とも見えるが、振巾の大きい地震波の多くはコンクリートの地下壁に直角に入射するので土とコンクリートのインピーダンス比が大きいことによる反射が大きいものと思われる。

更に、地盤沈下によつて建物下底にすき間が生ずる可能性を有する場合の基礎杭の危険性は前述したが、地階が存在する場合、地下壁の水平抵抗は杭の負担を著しく低減する。又、昭和39年新潟地震における川岸町のアパートの被害をみても、地下の存在が建物の安定性に大きく寄与するこ

とは明白である。

以上、地階の存在は耐震工学的にみてかなり有利といえるが、軟弱地盤地域において地階の建造を極めて困難にしている諸問題がある。例えば、出水時に地下に水が浸入するため使用し難い。深い根切り工事を行うと土の流動、水の流出を伴い困難で費用がかさむ等である。この点は都市排水施設の充実、根切り工法の研究等を進めることにより切りぬけることができると考える。

#### 5-2 地盤変動に対する構造計画

東京下町では平常時においても学校建築の如く、平面形が長大、あるいは地中応力の集中しやすい凸凹形状の建物は不同沈下のため壁体に亀裂が入つたり、棟と棟との接続部や隅角部に相対変位を生じて不都合を生じているものも少なくない。

地震時には表層砂質土の液状化の問題、海成粘性土の支持力低下等のため、この傾向が顕著となり、大被害の主因になる可能性がある。これを防ぐには極めて当然な事ではあるが、

(Ⅰ) 地盤調査を充分に行い、地中応力集中が生ずる部分に於いても十分に耐力に安全度があることを確認すること。

(Ⅱ) 学校建築の如く、段階的な増築の避けられない建築は当初からバランスの良い構造計画をたて、構造上、弱点となる部分をつくらないようにする。

(Ⅲ) 適切な基礎を選定し、同一構造内で異種の基礎を採用することは厳に避ける。

以上が主として鉛直方向の支持力低下に対する構造計画の基本条件である。前述したように地震時における地盤の挙動は未だ不明な点が多いが、新潟地震の際、大被害が集中した地域にあつても、杭基礎等が適切に配置されていた建物は大きな不同沈下は免れており、構造計画において上記基本原則を十分考慮する事は最低限、必要なことである。

次で、大地震の際、極めて強大な力で構造物を破壊する現象として地這りが考えられる。この地盤変動現象に対しては特に大スパン大架構構造物、長大な構造物が問題になる。例えば新潟地震の際、信濃川付近の表層近くが川に向つて地這り現象を起したために、当時新しく出来たばかりの鉄筋コンクリート造体育館が、いわば足もとが引き裂れたともいえる型で大被害をうけた。すなわち、このような大スパン構造物は構なつなぎ梁で柱脚を緊結することが困難なため、地盤変動に対して弱い欠点がある。対策として考えられることは土間スラブの活用であろう。従来土間スラブは常時に亀裂が発生して下から水が入つてこないよう、つなぎ梁等とは縁を切つて軽微な配筋がなされる程度である。この考え方を改め、特に大スパン構造物の土間スラブは厚さを増し、かつつなぎ梁と充分緊結した配筋を行い、引張り抵抗を持たせるべきである。このような配慮は軟弱地盤地域において特に著しい地表面付近の複雑な変動に対しても有効である。この他にも構造物の柱脚を緊結、一体化する方法は種々考えられるが、水平、鉛直いずれの地盤変動に対しても充分考慮する必要がある。

## 6. ま と め

- (1) 構造物の震害原因を大別すれば次のようになる。
  - (i) 地盤と構造物の周期特性が近いが、一致することにより共振現象を生ずる場合。
  - (ii) 地盤の変動、性状変化による場合。すなわち、地すべり、地表の不規則変動、地割れ、地盤剛性の低下、液状化現象等、

東京下町の大部分の地域では木造家屋及び基礎が充分考慮された高層建物では (i) が、又、比較的の鉄筋コンクリート造等剛な構造物は主として (ii) がそれぞれ最も問題になる。

- (2) 東京下町地盤の地震時の特性
  - (2)-1 周期特性、増巾特性による地域分類。
    - (a) 第1次卓越周期  $T_1 = 1.6$  秒以上と長く、大凡沖積層深さが30mを

越える地域で特に長周期の増巾率 $\alpha =$  (地表振巾/洪積層下低振巾) が最も大きく $\alpha = 4.5 \sim 5.0$ となる。

(b)  $T_1$ は1.2秒～1.6秒と(a)につき $T_1$ が長い沖積層深さは大凡25m内外の地域、長周期の $\alpha$ は4.0～4.5程度であり、下町で最も大きな地域を占める。

(c)  $T_1 = 0.8$ 秒～1.2秒、沖積層深さは20m内外、長期の $\alpha = 4.0$ 程度の地域。

(d)  $T_1 = 0.4$ 秒～0.8秒、沖積層深さは15m内外、長期の $\alpha = 3.0 \sim 4.0$ の地域。

(e)  $T_1 = 0.4$ 秒以下、沖積層深さは10m以下の地域、これはかなり良い地盤に属し、下町ではわずかの地域しか存在せず、地震動も短周期が問題になる。短周期の $\alpha$ は5.0程度となり、一方長周期は $\alpha = 2.5 \sim 3.0$ 程度である。

以上、大凡その地域分類を示したが、ここで最も問題になるのは(a)、(b)地域であり、下町の大部分の面積を占めている。

## (2)-2 沖積砂質土、粘性土の問題

下町の多くの地域に存在する比較的地表面近くの砂質土は、その締り方からみて新潟地震の際の新潟市における大被害密集地域に比較すれば条件はよい。しかし、より大きな地震動を考えれば液状化による被害の危険性は十分予想される地域が点在する。特に過去に大地震の経験のない砂質土埋立て地は危険度が大きい。

一方、粘性土については実験室的には振動による強度低下は小さいが、大地震時にどうなるかは明確ではない。

## (3) 東京下町における構造物の耐震性と構造計画上留意すべき点

前記(2)の(a)、(b)地域について考える。

(i) 比較的低層の剛な構造物は地盤の第2次卓越周期付近の周期成分の地震動に対し構造強度を検討する他、特に平面計画における剛性、重量分

布及び適切な基礎構造の選択に留意し、不同沈下等の地盤変動に対処することが重要である。

(ii) 高層建物については丸ノ内、銀座等比較的地盤の良い地域に比し、慎重な構造計画を必要とする。以下に留意すべき点を簡単に列記する。

1. 地階を設け、地震入力を減ずるとともに基礎（例えば杭）の地震水平力負担を減しその破壊を防ぐ。

2. 地階の深さ（建物下底までの深さ）は(a)地域ではGL - 8m、(b)地域ではGL - 5m以上が望まれる。

3. 基礎は東京レキ層又は下部東京層に充分嵌入し、支持せしむる。

4. 平面計画において剛性、重量のバランスをとること。

5. 地盤-基礎-建物連成による固有周期の伸びを考慮する。建物の高次の周期特性と地盤の2次の卓越周期との関係も考慮する。

6. 良質地盤地域に比し20~30%の変形の増大が考えられるため **Ductility Factor** を大きくするとともに、サツシュ等のジョイントに考慮する必要がある。

### (iii) 大架構造物

この種の構造物は一般に足がために問題があり、複雑な地盤変動に対しそれが弱点となる。土間スラブを1体化する等の方法でつなぎ梁の剛性を補い各柱脚を固める必要がある。

この他、木造家屋等を含め従来いわれてきた構造計画の一般論は守らねばならない。

#### (4) 地下埋設管について

現行設計法はモデル化における問題点、変形条件無視によつて生ずる問題点及び軸方向変形、力の問題点等実状に合わない点が多く、現在の埋設管が地震に際し、各所で不都合を生ずる事は避けられないであろう。

したがつて今後の新設問題も含め、当面次のような対策が必要である。

(i) 石油、ガス等可燃流体や有毒物質の輸送系として安易な地下埋設管

の新設は避けねばならない。市街地の地下の意味を再検討する必要がある。

(ii) 管路の埋設は原則として導洞方式をとらねばならない。すなわち常時点検、全線パトロール可能な状態にしておく必要がある。

(iii) 導洞の局部的破壊が管体を破壊しないようパネその他を介した支承を考える。

(iv) 設計と施工一体化をはかる。

(田治米辰雄・湯淺欽治・望月利男)

## 第4章 河川の都市河川化

### 1. ま え が き

河川は自然体としては、水文学、河川学などの研究対象となるし、河水の天然資源としての利用、保全という面では、水資源論の研究対象となる。治山、治水の面では砂防学や河川工学など古くからの技術分野が成立している。しかし河川の下流部に立地することの多い都市との関連からみれば、河川は港湾として河口港の機能を維持し、また河川は都市排水、工場排水の場としての機能をはたしてきたし、今後もはたしていくであろう。また、河川には自然機能として、風景構成の一要素としての側面のあることをわすれることができないし、発電、通航などの機能のあることもよく知られているところである。

ところで、都市地域内の河川では、都市の発展、膨脹とともに、これまでの河川がもっていた機能の面で変化が生じ、河川についての考え方をあらためなければ、都市内の河川を正しく理解しにくい面がでてくることを知るべきであろう。こうしたことを理論的に考察するためには、都市河川の実態についての、自然科学的河川工学的また社会科学的資料を整備することが必要であろう。

河川が都市化にともなつてどのように変化していくかについては、河川の水質、水量、利用の3面から考察されてきた。このうち、水質に関しては、とくに最近の公害の社会問題化とともに、広く一般の人々の注目をあつめるようになってきた。水量に関しては、河川災害との関連において研究されてきた。利用に関しては歴史地理的、地理的、交通地理的ときには政治地理的に、そしてまた水資源論の立場から技術面を含めた工学的研究がおこなわれてきた。何れの側面をとらえるにしても、都市地域内の河川は人間の実在としての河川として研究されるべき多くの未開発の分野をのこしている。都市公害における河川水質の汚濁のもつ意味を考へても、河川の社会科学的研究の必要性を指摘しないわけにはいかない。この分野に

関しては自然科学者の社会科学的研究と合せて、社会科学者の河川研究が必要である。

ここにはまず、鶴見川流域を例にとつて、水文環境の変化の概要をのべ、ついで東京下町の内部河川を例にとつて、その将来についての考え方をのべておきたい。前者の地域は開発途上の地域であり、後者は都市における河川の考え方を根本的に考えなおしてみるのに好都合な素材の多い地域である。

河川学的研究については丸井の別の報告があるので、ここにはふれない。

(中野尊正)

## 2. 開発にともなう水文環境の変化

### —— 鶴見川流域の例 ——

都市化の進展にともない、都市的土地利用が拡大すると、地域内の人間活動が増加して自然環境は変化させられる。河川の性状や地下水の挙動等を含む水文環境もその例外ではない。

本報告においては、鶴見川の中、上流部(図4-1)において、近年急速にすすんでいる住宅地化を主とする都市化の進展が、この地域の水文環境の変化をもたらす状況を、既存の資料を利用して考察した。

#### 2-1 都市化の進展と人口の増加

東京、横浜を中心とする人口の集中の結果として、鶴見川の中、上流域が住宅地として開発されはじめたのは、そう古いことではなく、昭和35年ごろよりである。当時は、東横線や小田急線の沿線で、小規模に宅地化がすすめられていたほかは、河川沿いの低地は水田に、丘陵地は雑木林として利用されていたにすぎなかつた。37~38年ごろより、町田市南部および東横線沿線での宅地化がすすみ、人口が増加しはじめた。40年ごろには、町田市の丘陵地に大規模な公営住宅団地や民営の集団住宅が建設されだし、42年ごろより、早淵川下流部や横浜線の沿線で宅地化がいちじるしくなつた。

このころ、中山、川和、佐江戸、新羽の各地区には、弱電関係やプレス業・飲料等の工場群や、倉庫群の進出がみられた。

44年ごろまでには、各流域とも宅地化が進行したが、特に、田園都市線の開通ともない、今まで開発のすすんでいなかった丘陵地帯での、斜面の人工造成による大規模な宅地化が目立つた(図4-2、図4-3)。

各流域における人口の増加は、図4-4に示したとおりである。鶴見川流域全体(大綱橋以西)の人口は、35~44年の10年間に約2.4倍に増加している。

## 2-2 河川の性状の変化

### (1) 水量の変化

河川の水質を決める要素には、流量、汚染、物質の量と質、河川の自浄能力等がある。流量の多少は水質汚濁に大きな関係をもつが、河川へ放流される人為的排水は、河川本来の自然流量とは別にして考えなければならぬ。自然流量とは、ここでは河川の全流量から人為的排水量を減じた水量のこととする。

鶴見川流域における人為排水は、上水道起源の家庭排水および営業用排水等の都市排水、地下水起源の工場排水および農業排水である。

図4-5は、鶴見川大綱橋地先における流量中に占める自然流量と人為的排水量との関係を、各年の水質観測時の流量をもとにして示したものである。流量は日々刻々と変化する値であり、ある年と他の年とを数回の値をもつて流量の変化を論ずるのはあまり適切ではない。しかし、図5のように自然流量と人為的排水量との変化を比較すれば、両者は逆の関係にあることが判明する。すなわち、40年9月と43年7月の観測時における全流量は殆んど同じであるが、自然流量の全流量に対する割合は、約80%から55%へと減少している。農業用地下水排水量が43年7月のみ記入されているのは、他の調査日はいずれも灌漑期にあつていないことによる。

自然流量の減少は、都市的土地利用の拡大にともない、宅地、工場、道路等の難滲透性の地表被覆が増加し、同時に、側溝や排水路が整備されたために、降水時の直接流出が増加し、地下水として貯溜される量が減少したため、中間流出が減少したことによると考えられる。この点に関する詳しい資料はこの地域にはないが、今後、地下水位の昇降に示される地下水の挙動と降水量との関係の検討や、河川の流量を通年的に測定し、経年的な変化を検討することによつて、実態を明らかにすることができる。

汚染物質を希釈する流水中に占める人為的排水の割合の増加は、人為的排水自体が汚水であるために、河川水の水質の改善には効果は少なく、時には、より一層の汚濁をもたらす。

## (2) 水質の変化

この流域における都市化は住宅地の拡大によつて特色づけられている。したがつて、汚染物質は都市排水によつて供給されるものおよび尿である。そこで、水質汚濁の指標としては、COD・BOD等の一般的な汚濁指標とともに、ABS・DO（溶存酸素）・ $\text{NH}_4\text{-N}$ （アンモニア性窒素） $\text{Cl}^-$ ・ $\text{SO}_4^{2-}$ ・THd（総硬度）等をも採用するのが適當である。BODおよび $\text{NH}_4\text{-N}$ は農業用水の汚濁の指標としても有用である。

### (a) 水質の縦断的变化

河川の水質を水質縦断面図の作成により論ずる方法は、特定の汚染源を流域内にもち、その影響による水質の変化を調査する場合には、きわめて有効である。しかし、鶴見川流域における都市化は、全流域にわたり進行しており、また、河川の汚濁をもたらす人間活動の量や、その行なわれる時刻等是不特定である。かつ、河川の水質は刻々と変動しつづけると考えられるから、この研究においては適當な方法ではない。

事実、鶴見川における水質縦断面図に示された汚濁の状況は、毎年大きく変化し、規則性は殆んど認められなかつた。

### (b) 都市化と水質との関係

この地域の都市化は住宅地化を主とするもので、人口数および人口密度を指標として、水質の各指標との関連性を検討した。

河川の水質は時々刻々と変化するから、1回の観測値がその年度の水質を代表するものでないことは当然である。しかし、採水の季節、曜日、時刻等に留意して観測すれば、ある程度の水質の傾向を知ることができる。

図4-6、図4-7では、人口数および人口密度と各水質指標とを、年次を追ってグラフに記入し、観測地点ごとに線でつないでみると、 $\text{NH}_4\text{-N}$ ・ $\text{Cl}^-$ ・ $\text{SO}_4^{2-}$ ・ $\text{THd}$ において、観測地点ごとに相関がみられる。COD・BOD・ABS・DOについては相関は認められない。各観測地点は、それぞれ特性をもつグラフを示し、鶴見川全体としての相関はみとめられない。観測地点は、各々その流域における水質の傾向を代表していると考えてよい。そして、この水質の傾向は、各流域の自然的特性、すなわち先に述べた自然流量や河床勾配、それに流域内における都市化の展開の差異が、複雑に関係し合つて生じていると考えられる。

その例としては、早淵川の吉田橋での観測値をあげることができる。この地点では、人口数や人口密度に対して、他の観測地点の値と比較して、高い汚濁傾向が示されている。これは、この川の流域における都市化が、観測地点の周囲でいちぢるしいこと、および、この川は流域面積が小さいために自然流量も他の恩田川や谷本川にくらべて少いこと等が原因であると考えられる。

## 2-3 農業公害から地域公害へ

### (1) 農業公害

河川の水質が汚染されるにつれて、鶴見川および各支流の表流水を引水していた水田では、水稻の育成に悪影響があらわれた。被害は、おもに水稻の青枯や倒伏を生じて減収をまねいたものである。アンモニア性窒素等の窒素過多が原因である。

38年ごろ、恩田川上流の町田市南部で、原町田の市街地から排出され

る都市排水による水質汚濁のために水田に被害が発生したのを始めとして、40年にはこの地域全体で601haの水田が被害をうけた。図8は、40年度および44年度における被害農地の分布を示している。40年度の被害面積の80%は都市排水が原因であり、工業排水によるものは僅か20%にすぎない。都市化の更にすすんだ44年度には被害面積は若干減少して583haであつた。被害面積の減少は、40年度の調査による被害地の中で、宅地や工場用地等への農地転用が行なわれたことにより生じた。汚濁の原因は、都市排水によるものが65%に減少し、工場排水によるものは35%へ増加した。新しく進出してきた工場群の排水により、新しい被害農地が各所に出現しているので、被害はむしろ増加していると考えられる。

被害地域は、40年には恩田川沿岸および同川と谷本川との合流地点より下流の鶴見川沿岸に多かつたが、44年には谷本川や早淵川へも波及、拡大して、谷本川上流部をのぞいて殆んど全地区で被害をうけている。

被害をうけた農地では、河川の表流水に依存していた農業用水を、農業用深井戸による地下水の利用へと完全に切り替えたり、また、地下水で表流水を希釈して利用するなどして対処しているが、河川水の汚濁はますます激しくなっているので、対策に苦慮している。

## (2) 地下水の利用増大と地盤沈下

農業用水としての地下水の利用は、灌漑期間中に150日程度行なわれている。揚水量は流域全体で約13,000 $\text{m}^3$ /日(44年調査)であり、42年ごろ掘られた井戸が多い。井戸は大部分が深井戸であり、地表下30~60mの洪積層および第三紀層上部より採水している。

工業用およびその他の用途にも地下水が利用されており、約12,000 $\text{m}^3$ /日(43年調査)を揚水している。採水層は農業用井戸のそれとほぼ同様である。

生活用水としての地下水の利用は、この地域の上水道普及率が、横浜市

港北区で96%、同緑区で82%、町田市で75%（44年度）と高いために、あまり盛んでない。

工場群は、水質汚濁によつて被害をうけていた農地の跡に進出してきたものが多く、この地域には工業用水道の供給がなされていないために、地下水の利用が盛んである。

各用途の深井戸は、それぞれの土地利用と結びついているために、局地的に集中せず、むしろ、流域全体に分散している。

このような地下水開発の結果、地下水位の低下および地盤の沈下が、低地において徐々に進行して地域公害として問題になりつつある。地盤沈下は今まで綱島付近で激しかつたが、沈下地域は次第に本流の沖積平野沿いに上流へ波及して、43年度には新吉田町で5.3mm、太尾町で2.2mm、新羽町で5～6mm、新横浜駅前で6.2mmの沈下が観測されている。現在観測体制が整つておらず、現象の把握が明確には出来ないけれども、既設の水準点においては沈下量はまだ小さいが、42年ごろから沈下量が大きくなる傾向がみられる。この時期は、農業用深井戸群の多数掘られた年と一致し、また、工場群の進出もこのころからはじまつた。

#### 2-4 あとがき

以上のように、鶴見川流域における水文環境は、流域の都市化とともに変化しつつある。変化をうながしたものは、根源的には都市化ともなり人間活動の増大による河川への汚染物質の供給増加である。また、都市的土地利用の拡大にもなり河川流量中に占める自然流量の割合の低下により、水質汚濁は急速に進行した。汚濁した河川の表流水を灌漑用水として引水した農地では、水稻の青枯や倒伏等により減収する被害をうけたため地下水の利用が盛んとなつた。市街地に近い被害農地は宅地へ、また、本流沿岸の被害農地は工場団地や倉庫団地へと転用が行なわれた。そして、これらの新しい宅地や工場群より排出される汚水によつて鶴見川の水質はますます悪化している。

また、工業用水道の未設備のために工場群による地下水の利用と、汚濁した河川の表流水を回避して利用されはじめた農業用地下水の利用によって、地下水の平衡が乱され、地下水位の低下および地盤沈下が発生した。

人間活動にとつて水は不可欠であり、もしも水の濁沢な供給が阻げられたり、水質が悪化して利用に耐えなくなると、他に水源を求めねばならない。この際に、水文環境全般に対する充分な考慮をせずに、無秩序に新しい水源の開発、利用を行うと、新しい災害を生起させて、その水源をも失つてしまうことがある。

この鶴見川の流域の事例においても、自然の系が人間活動によつて一箇所でも乱されると、連鎖的に潜在的素因が顕在化し、自然環境を悪化させてしまう例をみることができる。

(矢田恆晴)

### 3. 江東三角地帯の内部河川についての考え方

江東三角地帯の内部河川における護岸、橋梁などの施設現状および河川の利用状況などについては、東京都首都整備局、財団法人日本河川協会の調査した「江東地区防災拠点等防災都市建設調査 4、内部河川処理検討報告書」(昭和44年2月)に詳しい技術的報告がのせられている。この報告書は、内部河川の舟運利用状況、木場の移転の可能性、橋梁対策、汚濁対策、防災対策、内水排除、浸水被害の推定、内部河川処理手法の検討の各章にわかれ、貴重な資料がもりこまれている。まずはじめにその骨子を紹介し、ついで内部河川一般的には都市河川の考え方について私見をのべることとした。

この調査は、きたるべき大地震に対して、江東地区(隅田川と荒川にはさまれた地域)に想定される大被害を防ぐため、防災拠点などによる防災都市建設のための基礎調査として実施された結果を収録している。最終的には、内部河川の処理の技術方法に言及し、拠点方式と合せ、江東地区の防災都市再開策を考える基礎資料を提示している。

舟運利用状況に関しては、6つの水門における昭和44年1月22日か

ら27日までの期間の、午前6時から午後6時までの船の種類、積荷の種類、船の長さ、出入隻数を中心に観測している。結果は表4-1のとおりである。また、過去の調査報告資料を活用して、月間平均輸送量、船舶屯数規模、工場移転計画などに言及している。注目すべきことは内部河川に専用繫船施設をもつ約170の工場のうち、移転計画のあるのは7個所にすぎず、舟運の利用メリットは高いと考えられていることである。また移転希望の工場も、公害、工業などの制限法を原因にあげ、交通事情の悪化をあげているものも多いとしている。

木場については、木場市場として高い位置をしめつけているとはいえ、都市の過密化にともなう立地条件の悪化、流通機構の変化による相対的地位の低下を生じているとしている。いまなお木場がその機能を維持しているのは、原木搬入路として、製材品輸送駅の近いこと、木材関連者企業の併存をあげているし、一方、その機能をうしないつつあるのは、製材品搬出に運河がつかわれないうこと、用地不足、陸上交通の不便、地盤沈下による筏船行の障害、荷物積卸の規制をあげている。また、木場を中心とする木材関連企業の全体として、経済的理由から移転を希望し、あと地の利用計画上からもこのまゝとして木場の移転の可能性を肯定している。しかし木材関連企業のうち残留希望が約20%もあることは今後問題をのこすとしている。

橋梁対策は地盤沈下とも関連するし、内部河川処理の方式とも関連して、計画実施上の大きな問題点になる。汚濁対策については、汚濁の現状、内部河川処理による影響などを検討している。防災対策としては、内部河川の防火用水源としての機能に注目している。

内水排除については埋立てた時の内水対策について考察しているが、この時の残存河川水域は7万㎡である。また、高潮が起る時の確率100年に1回起る1時間雨量を基準として考えている。この時の24時間雨量は337mm、6時間雨量は205mm、高潮を考えない時の100年に1回の

降雨の場合についても、検討を加えている。何れにしても内水対策が大きく必要なことを示している。

浸水被害の推定については、内部河川護岸が10%被害をうけた場合について、欠口した場合とパイプロが形成された場合の浸水状況の想定をおこなっている。その一部は図2-6として別の章に引用してある。

内部河川処理方法の検討の章においては、内部河川の現況と将来のあり方を整理したうえ、3種の埋立案と、全域の内水低下、半分の地域の内水低下、低下させない場合について、経費、利害得失を比較検討している。何れの案をとるにしても、江東地区の再開発構想と関連が強く、防災拠点構想はあつてより高い次元の構想計画がなく、内部河川の将来計画の立案にも困難が多いとしている。実施計画年数としては昭和54年、つまり、河角説による次の大地震の危険期にはいるまでとしている。また、各種の事業実施上の難点は、技術的な問題ではなく、内部河川利用者に対する権利補償、橋梁こう上の際の用地取得にあるとしており、また防災拠点計画、木場移転の実現にも大きく左右されるとしている。

この報告書の作成にあたって、若干の意見を求められたが、全体を通読して、あらためて都市河川の考え方について検討を加えることの重要性を痛感する。

江東地区の内部河川は旧中川をのぞいて、何れも江戸時代以降に運河として開さくされたものである。旧中川を含めて、これらの内部河川が社会的経済的にはたした役割はきわめて大きい。しかしながら、今日ではその社会的経済的使命は低下し、内部河川に依存しない人々にとつては、かえつて地震水害や交通障害などのほか、悪臭、水質汚濁などの公害源として、マイナスの面しか関係しない。内部河川を利用する工場の多くを含めて、周辺の工場がこの地域の顕著な地盤沈下の源として大きな部分をしめてきたこともたしかである。

内部河川はこの地域に工業を誘導するうえでたしかに役立ったが、今日

では工業をめぐる基盤的条件（道路、用水、用地など）が工業化の初期とは全くことなつてしまい、内部河川の機能を再検討し、江東地区全体の将来像を考えて、地震、水害、公害に対して安全な環境の整備された地域に模様がえすることが必要である。しかもそれは、10年程度の期間で第一期の工事を完了するものでなければならない。

したがって、同報告書にもふれているように、江東地区の将来構想、その構想を実現するための計画、そのなかでのこの地域の産業構造、用途地域の配置、防災諸施設、環境整備に関する諸施設などの関連して内部河川の処理が実行されねばならないであろう。

江東地区の東、荒川放水路以東の江戸川区、葛飾区の地域にも全く同様の問題があり、かつ急速な都市の無計画な膨脹、地盤沈下の進行、生活環境の劣悪化などが進行している。城北地区においても同断である。

こうした問題地域を東、北にかかえて、江東地区のみを優先して考える根拠も明確にされるべきだし、この点では、東京都低地帯全体についての将来像についての考え方の確立が必要である。こうした全体的位置づけのなかで、江東地区の、そしてそのなかでの内部河川の考え方の確立をいそがねばならない。

同報告書もふれているように、こうしたより高次の構想、計画はない。江東地区を優先する積極的理由も示されていない。こうした事情のなかでは、東京低地帯全体の将来像についての計画理論の早急な確立がのぞまれる。

東京低地帯が工業によつて特色づけられていることは周知のことである。しかし、この地域のかかえる多くの都市問題の根源が多くは工業にあることもたしかである。これらの都市問題を解決するためには、根源として大きな部分をしめる工業関係の企業に手をつけることはさげられない。また、そのためには工業の転出先の確保が必要になるし、工場跡地の利用計画がこの地域の将来像を左右することになる。また移転先の土地利用計画が確

立されていないからならぬ。関係企業の希望を優先して考えられないほど、地域の現状には問題が多く、同上の報告書にみる内部河川の利用企業の希望をみても、地域の実情よりも各企業中心に考えているとしかいえない状態にある。

このような状態に対しては、大地震による危険性を強調しつつ、地域の改造をはかるのも一つの方法であろう。この方法をとる限り、火災や地震水害に対して安全なスペースの確保と、そのスペースの安全な施設計画が計画の中心になる。根底は人命尊重であるが、さらに環境改善の柱としては緑地を拡大にとり入れることである。こうした基盤のうえにはじめて、生活機能を向上させる諸施設とその配置、それらを結ぶ交通施設計画を考えるべきであろう。対象の地域は江東三角地帯に限定せず、広く隣接県を含む東京低地帯とすべきであろう。

このように考えると、江東三角地帯の内部河川は、部分的には防火用水源として、あるいは歴史的資源としてのとすとしても、機能的にはこれまでの産業的機能のみの考え方はとるべきではないであろう。東京低地帯における内部河川はその生命をたちつつあるといえるし、しかも内部河川を利用してきた企業を含む企業群が、内部河川の寿命をちぢめてきたことにも注目すべきであろう。

このような考え方にたつと、防災拠点の考え方は、せまい範囲を防火壁としての機能をはたす高層住宅でとりかこんでいく考え方であるから、より速い将来を考えると、おそらくきわめて異質な地域構成の要素を形成する考え方だといえないことはない。そこで、拠点と拠点を結ぶ中間地域の地域構成に課題があるし、とくに、江東三角地帯以外の北および東の地域では、より自然な都市形態を形成しつつ、地域の安全性を高める考え方を導入すべきであろう。

(中野 尊正)

## 参 考 文 献

神奈川県 (1965~69) : 水系別河川水質調査年報 (I~V)

横浜市土木部 (1963) : 鶴見川水質調査報告書

建設省関東地方建設局 (1964) : 多摩川、鶴見川河川水質調査報告

東京都及び神奈川県農政部 (1966・69) : 水質汚濁実態調査 (I~II)

「未公表」

神奈川県農政部 (1968) : 農業用地下水調査 (特殊地区地下水調査)

「未公表」

神奈川県 (1970) : 京浜地帯地盤沈下調査報告書、その他横浜市、

川崎市、町田市の統計書、

東京都首都整備局・日本河川協会 (1969) : 江東地区防災拠点等防災都

市建設調査4、内部河川処理検討報告書



図4-2 鶴見川流域の人口密度 (1965年10月現在)

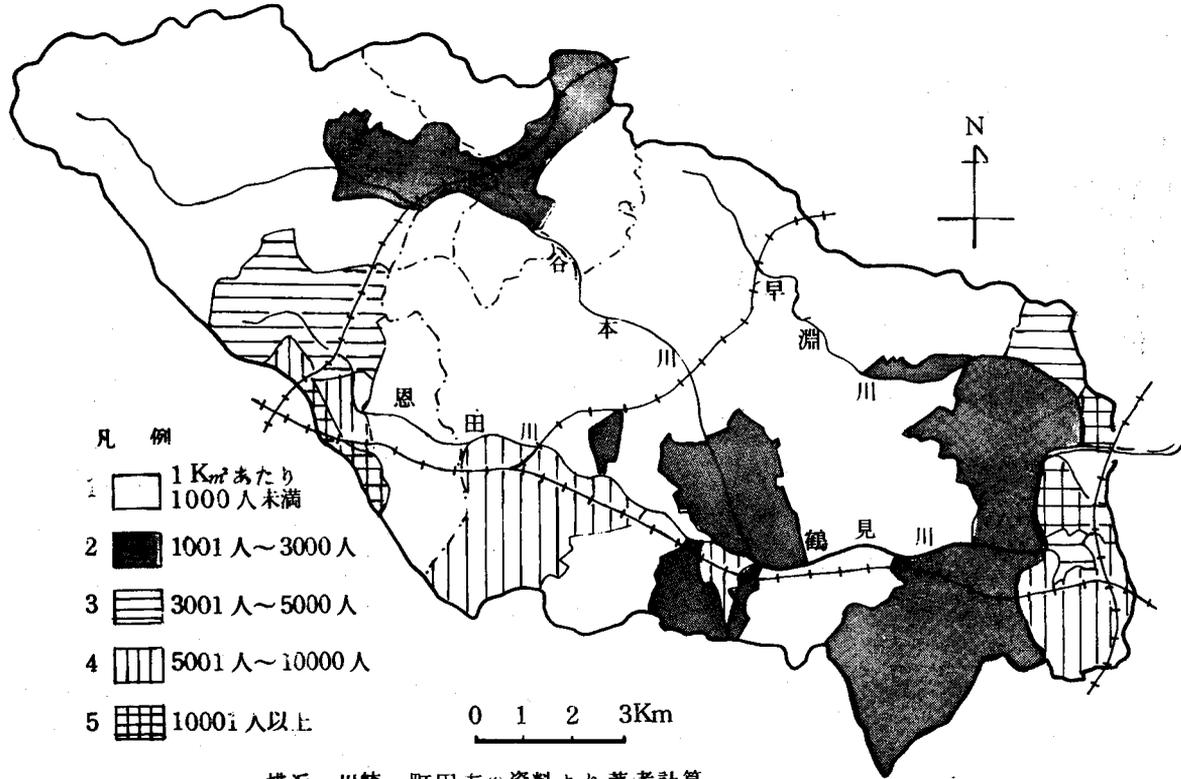
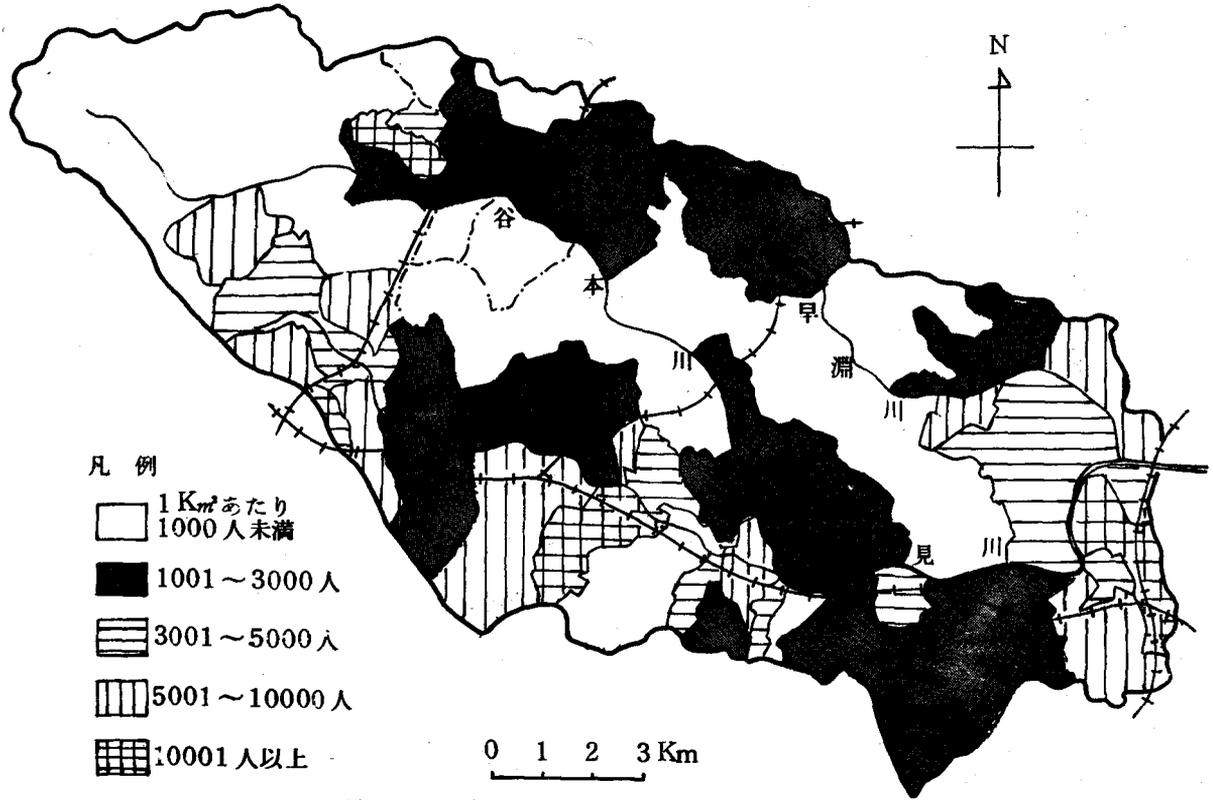


図4-3 鶴見川流域の人口密度 (1969年10月現在)



横浜・川崎・町田市資料より著者計算

図4-4 各流域の人口の増加

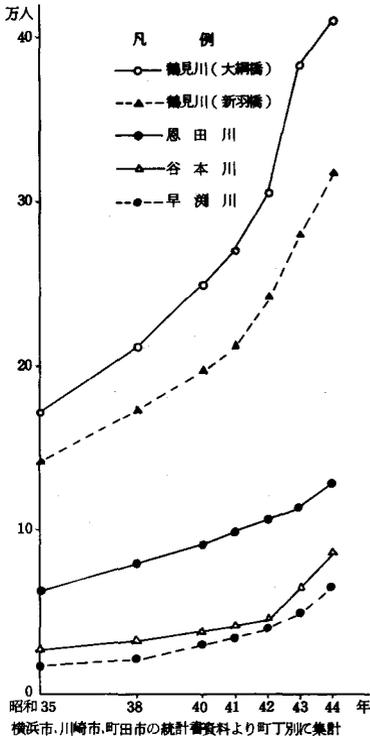


図4-5 流量に占める人為的排水量の割合(大網橋)

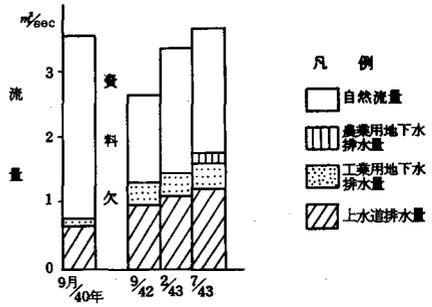


図5の説明

この図は、横浜市、川崎市、町田市水道局の資料および神奈川県農政部、横浜市計画局等の資料をもとに計算した。

工業用水排水量は1日あたり10時間、農業用水は2.4時間、上水道排水量は1.8時間(6:00AM ~ 24:00PM)で排水するものとした。

図4-6A CODと人口との関係 (1965年以降)

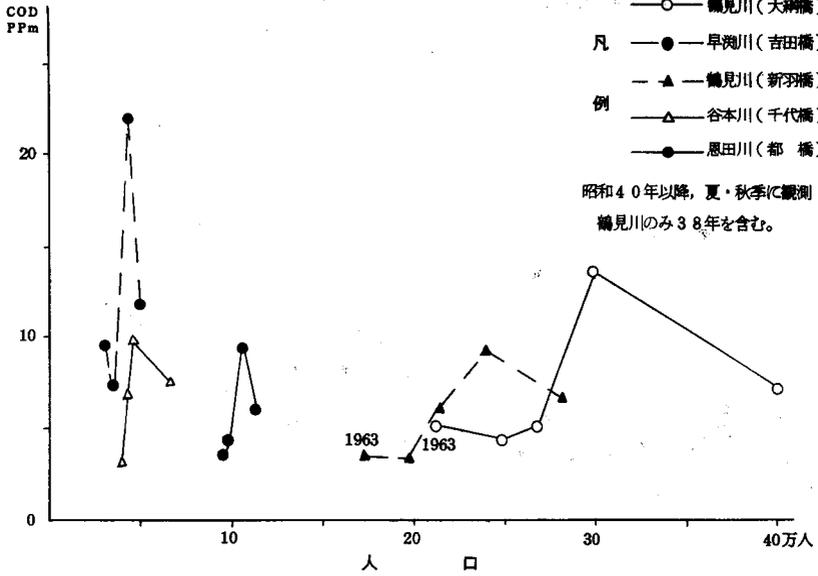


図4-6B BODと人口との関係 (1965年以降)

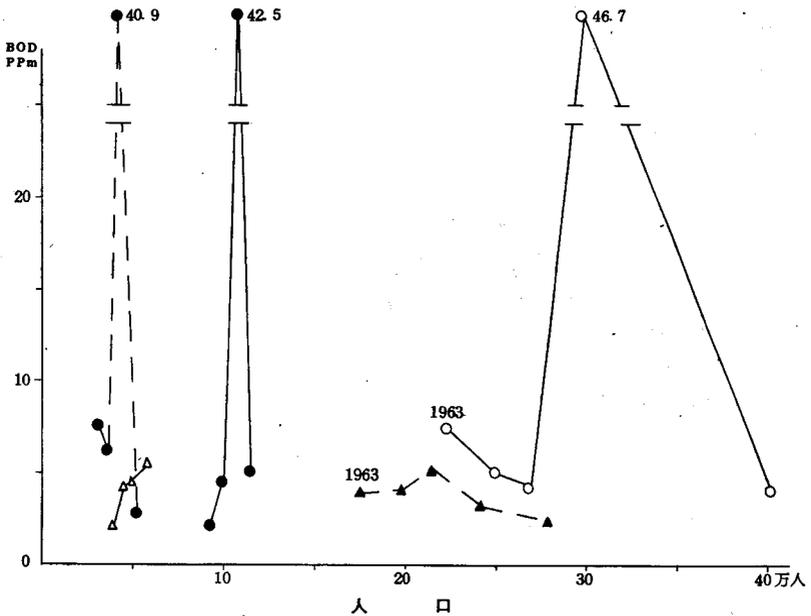


图4-6C ABSと人口との関係 (1965年以降)

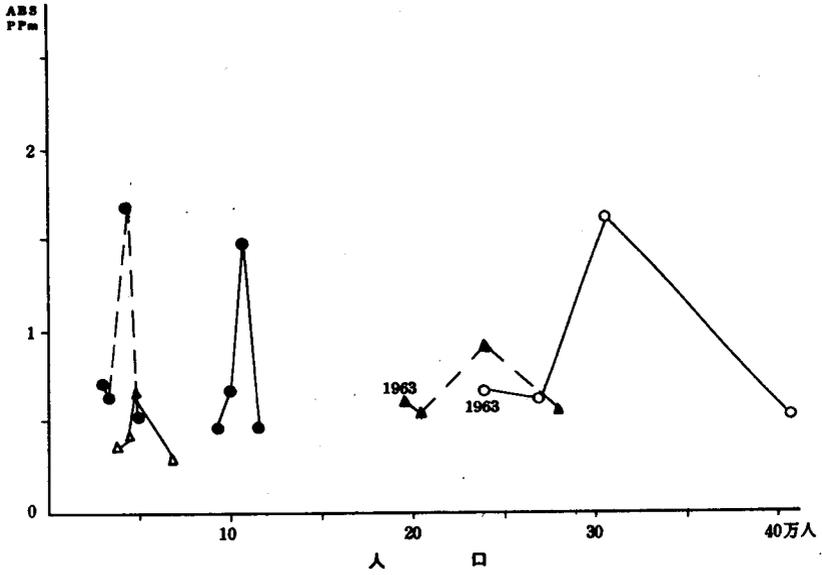


图4-6D DOと人口との関係 (1965年以降)

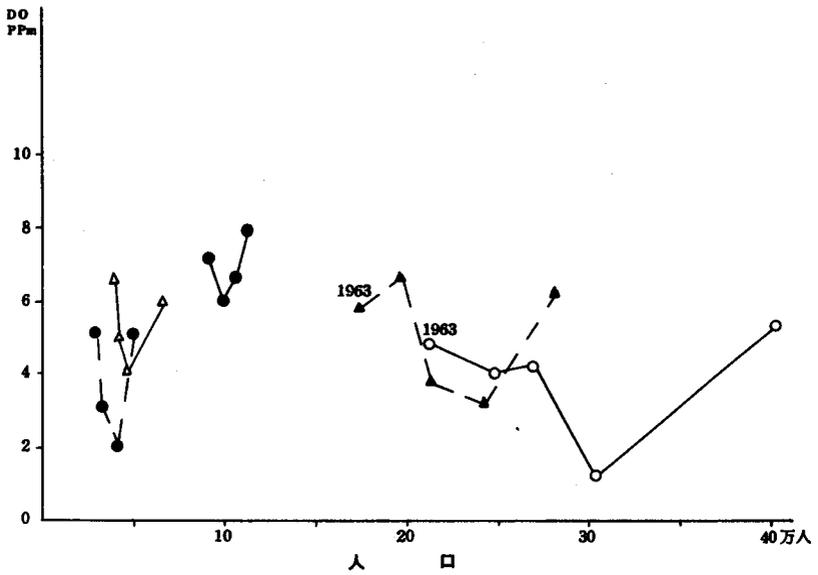


图4-6E NH<sub>4</sub>-Nと人口との関係 (1965年以降)

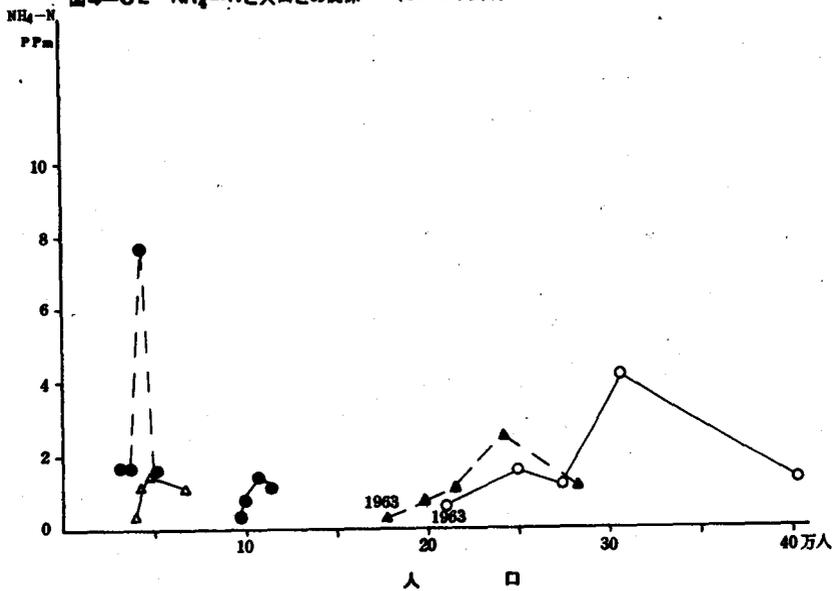


图4-6F Cl<sup>-</sup>と人口との関係 (1965年以降)

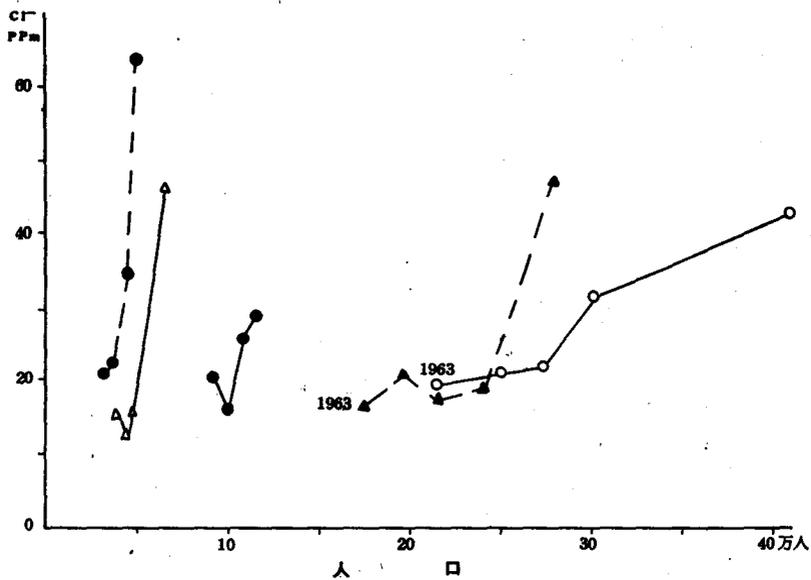


図4-6G  $\text{SO}_4^{2-}$ と人口との関係 (1965年以降)

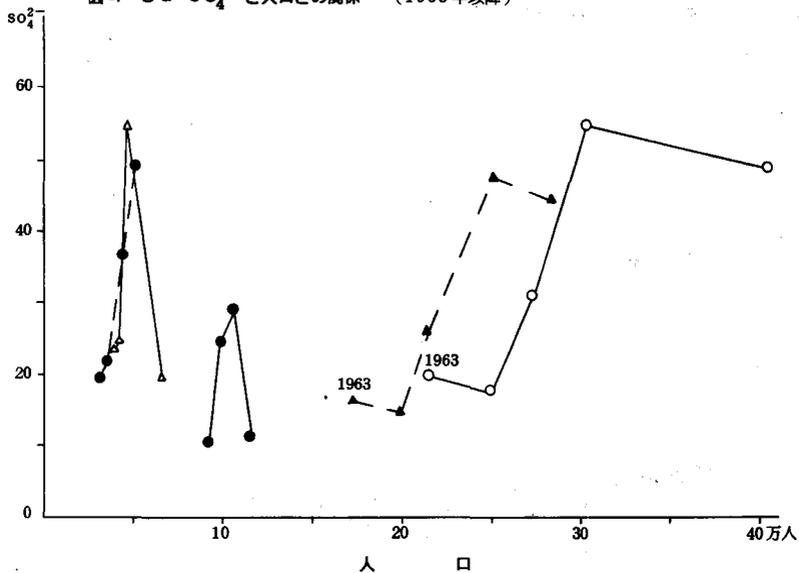


図4-6H THd (総硬度)と人口との関係 (1965年以降)

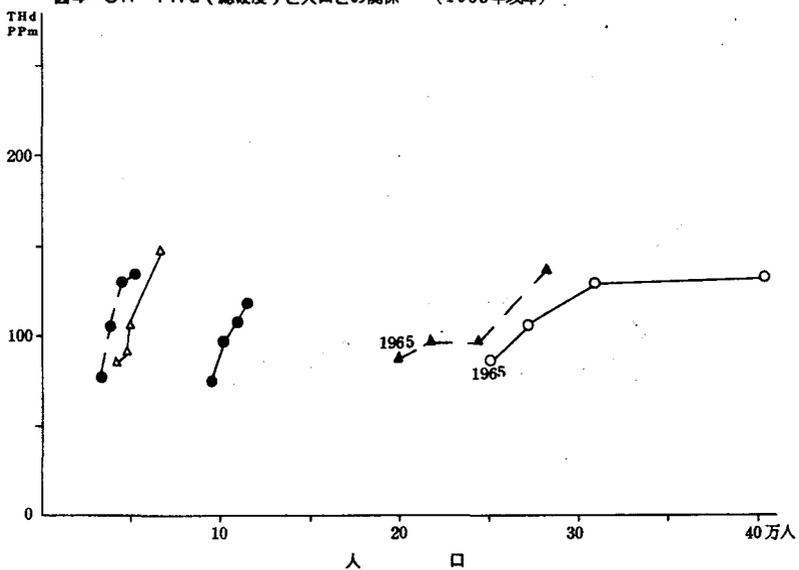


図4-7A CODと人口密度の関係 (1965年以降)

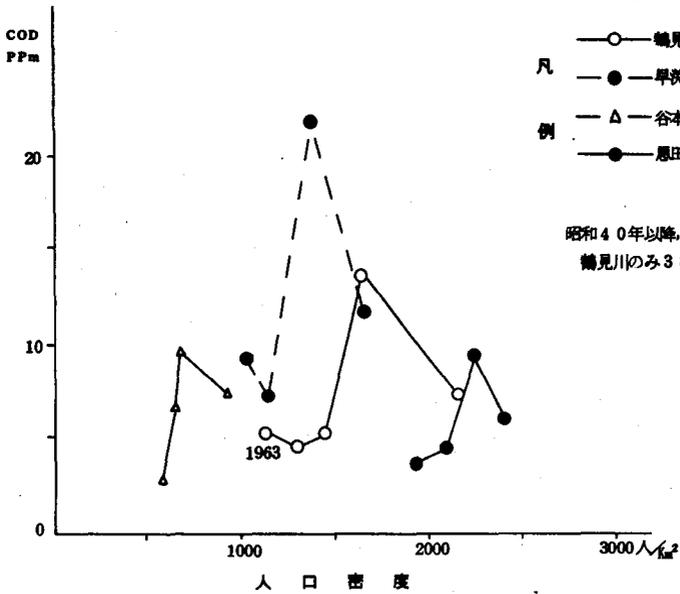


図4-7B BODと人口密度の関係 (1965年以降)

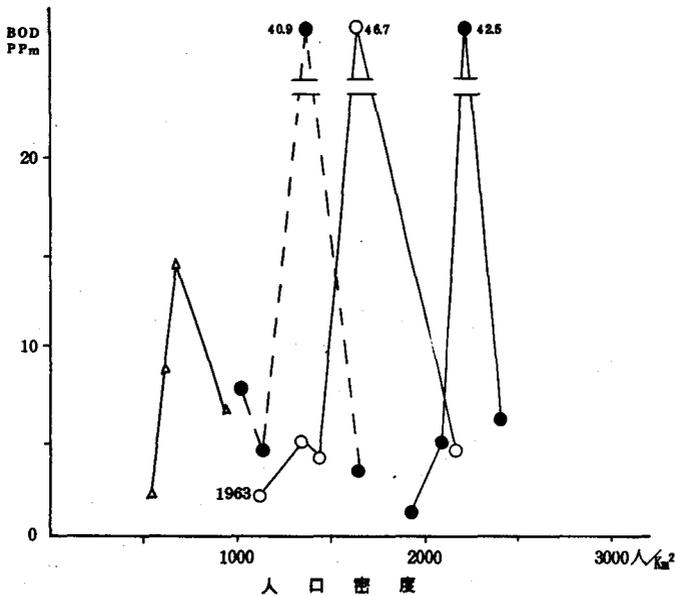


図4-7C ABSと人口密度の関係 (1965年以降)

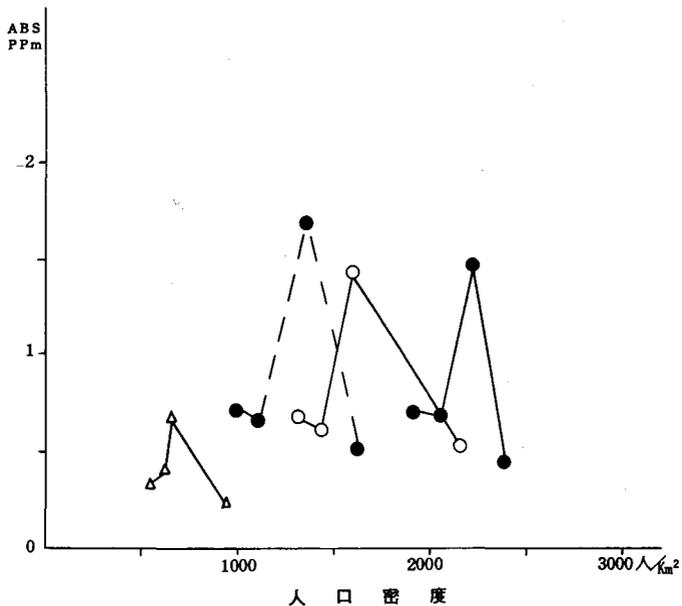


図4-7D DO (溶存酸素)と人口密度の関係 (1965年以降)

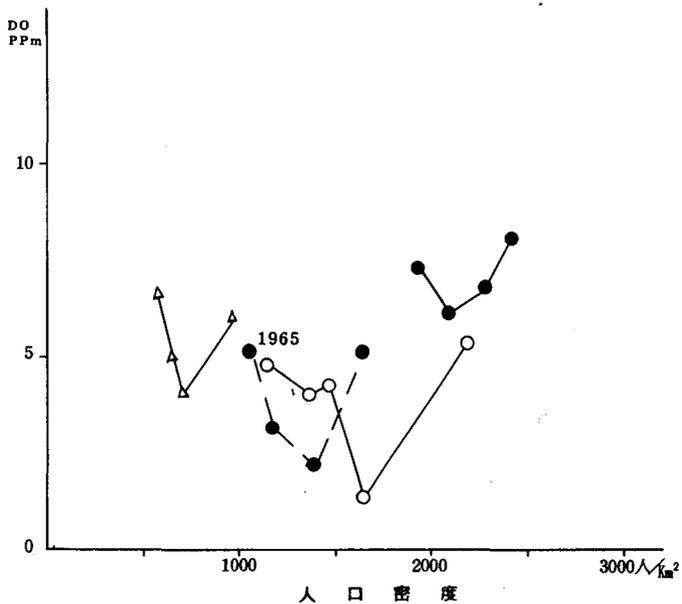


図4-7E NH<sub>4</sub>-Nと人口密度の関係 (1965年以降)

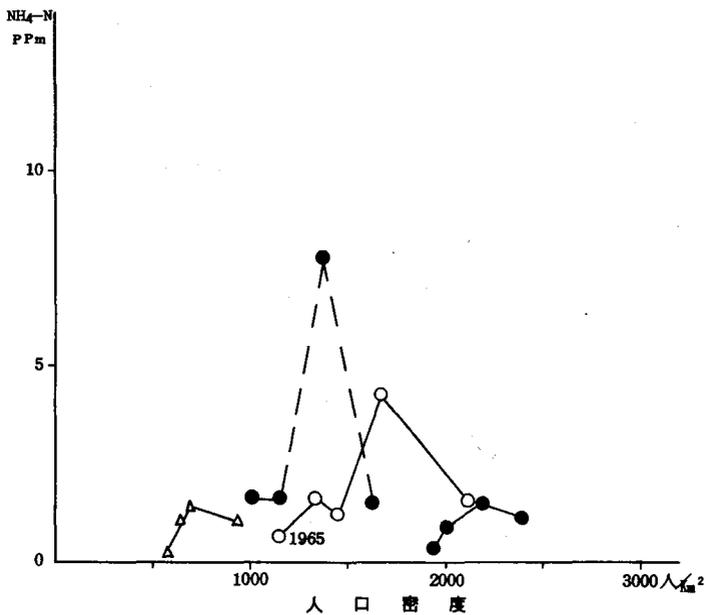


図4-7F Cl<sup>-</sup>と人口密度の関係 (1965年以降)

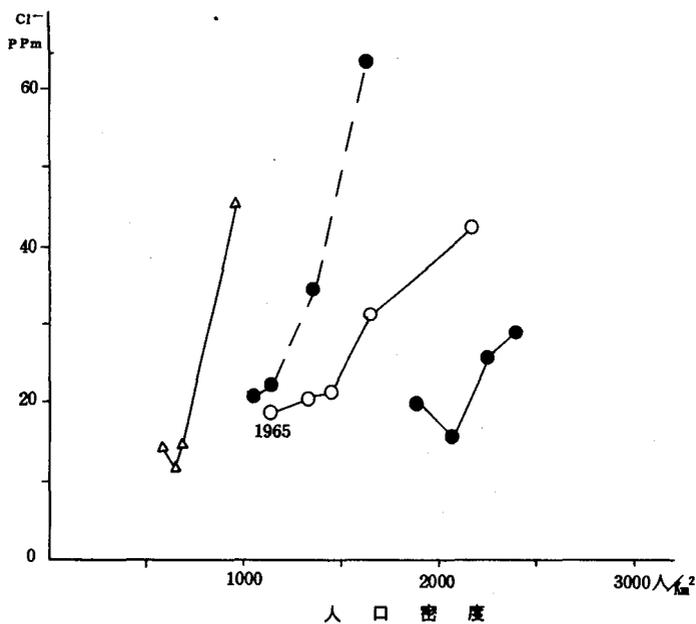


図4-7G  $SO_4^{2-}$  と人口密度の関係 (1965年以降)

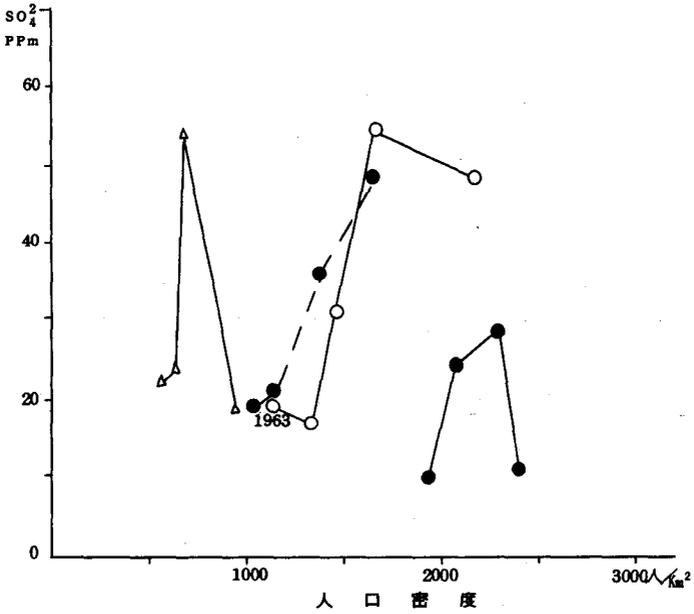


図4-7H THd (総) と人口密度の関係 (1965年以降)

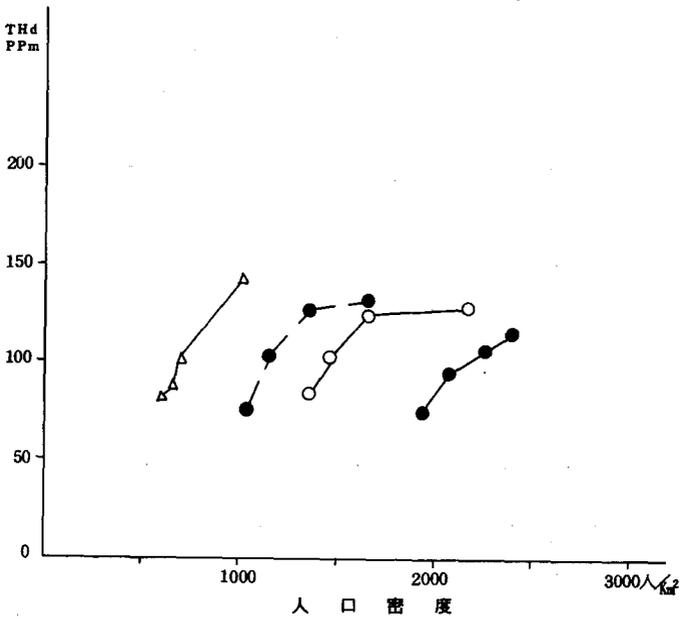


図4-8 鶴見川流域の水質汚濁による農地の被害

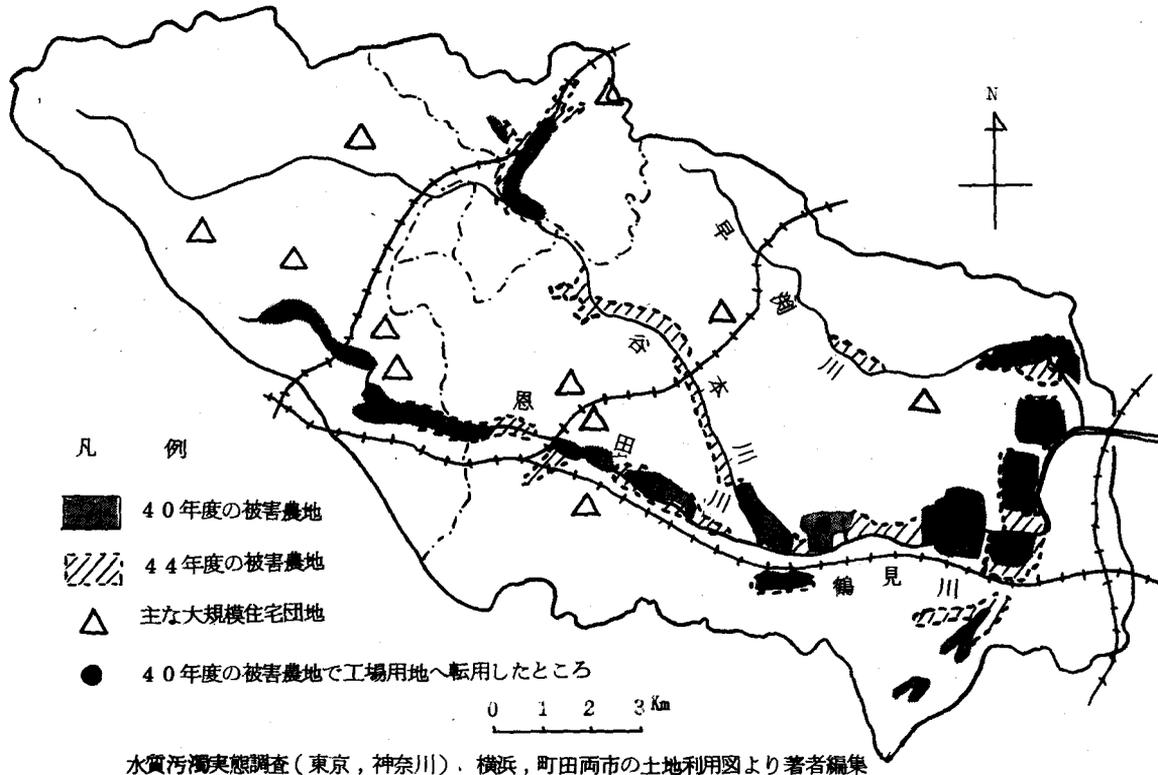


表 4 - 1 江東デルタ内の水門を通過した船、筏の隻数\* (東京都首都圏整備局1969)

月 日	新小名木川水門		仙台堀水門		大島川水門		平久水門		小名木川水門		木下川水門	
	船	筏	船	筏	船	筏	船	筏	船	筏	船	筏
1月21日	148	44	42	5	44	2	50	29	54	2	26	2
22日	181	14	40	3	49	4	74	23	51	2	22	2
23日	251	4	42	1	35	2	85	29	87	3	24	0
24日	212	3	29	3	64	2	101	28	58	0	27	2
25日	136	3	11	2	45	2	108	31	63	0	25	2
26日**												
27日	184	7	41	5	76	4	88	28	52	0	26	1
計	1,112	75	205	19	313	16	506	168	365	7	150	9
1ヵ月	5,560	375	1,025	95	1,565	80	2,530	840	1,825	35	750	45

\* A.M. 6.00 から P.M. 6.00 までに通過する隻数。

\*\* 1月26日は日曜日なので除く。

## 台地地域における崖地利用 第 5 章 の変化に伴う若干の問題と 崩壊危険地域の予測

### 1. ま え が き

台地地域では、その地形、地質的特性からみて、山地や丘陵地、低地などの地域にくらべて、自然災害は比較的少なく、かつ災害の発生する場所も崖や谷底の低地などに限られている。しかし、台地地域でも、最近の急激な都市化、とくに宅地化に伴う土地利用と自然のシステムの著しい改変により、崖くずれ、中小河川災害などの発生が目立つようになってきている。

日本の多くの都市の周辺部で、台地や丘陵地の本格的な宅地化が開始されるようになったのは、昭和30年代以降のことである。首都・阪神・名古屋の3大都市圏では、多摩ニュータウン、千里ニュータウン、高蔵寺ニュータウンなど、人口数万ないし数十万規模の大規模な住宅地域の開発がすすめられている。一方、地方の中心都市の周辺部においても、台地、丘陵地域の急速な宅地化がすすんでいる。仙台の青葉山・七北田丘陵・浜松の三方原台地、鹿児島周辺のシラス台地などに、そうした代表的な例がみられる。

台地・丘陵地域では、こうした宅地開発に伴い、自然環境の著しい改変が行なわれている。自然の地形と土は、切土・盛土・埋立てによって人工化され、森林や農地は住宅とその関連施設に置きかえられている。そのため、自然のシステムの多くの要素が連鎖的に変化している。その結果、丘陵地はもとより、これまで災害の比較的少なかった台地地域においても、崖や擁壁の崩壊、土砂の流出、中小河川の出水などによる災害が多発するようになってきている。

こうした災害は、既成の市街地や住宅地域でも、そのあとをたっていない。東京山手の台地では、台地を刻む谷の上流部にあたる西郊地域の開発がすすんだため、中小河川の下流部低地を占める市街地や住宅地で水害が頻発化する傾向がみられる。また、22号台風(1958.9.26)、4号台風(1961.6.28)による集中豪雨によって、都区内の崖や擁壁の多くの個所で崩壊が生じ、

施設の破壊と人命の損失による被害が発生している。

既成の市街地、住宅地の内部では、その過密化に伴って、これまで緑地として残されてきた崖の宅地化が急速にすすんでいる。宅地化に伴う崖の緑地の除去と崖の人工的改変の結果として、さらに多くの問題が顕在化しようとしている。ここでは、山手台地の場合を中心に、崖地利用の変化に伴う諸問題と、崖・擁壁の崩壊危険地域の予測に関連して、若干の考察を行なっておきたい。

## 2. 崖地利用の変化とそれに伴う若干の問題

東京の山手台地では、この数年来、山手線の内側からその沿線にかけての地域をはじめ、京浜東北線、小田急・京王帝都・東急などの私鉄沿線の地域を中心に、崖地の利用形態が急激に変化している。下町の低地や、神田川、古川・目黒川・呑川などの谷沿いの低地にのぞむ崖の大部分は、都区内の貴重な緑地として残されてきたところである。その多くはササなどの下生えを伴う林地であったが、それが一般住宅やマンション・ホテルなど高層建物の用地として利用転換されつつあるのである。

こうした人工施設の建設に先立って、崖の自然の地形と土は、切土と盛土によって改変されている。切土と盛土の斜面は、大谷石やコンクリートなどの擁壁によって被覆され、造成されるので、崖の景観は急激な変貌をみせている。最近では、マンションなど高層建物の建設による変化がとくに著しい。

図5-1は、山手台地における切土、盛土などによる人工改変地の分布のあらましを示す。この図は1966年撮影の空中写真の判読によるものであるから、現在では改変地は更に拡大していると考えなければならない。こうして、山手台地の区部における自然の崖には、近い将来、道路や鉄道の法面の部分も含めて、ほとんど余すところなく人工の手が加えられることになろう。その結果、崖をおおう緑はますます減少することであろう。

こうした崖地の利用形態の変化により、第1章で指摘したように、不安定な斜面や地盤が造成され、また降雨一流出システムを中心に、自然のシステムに

も変化が生ずる。切土や盛土による不安定な斜面には、防災対策として擁壁が築造される。しかし、擁壁はその本来の機能を果たす一方、人工施設でおおわれるようになった階段状の平坦面や傾斜した舗装道路などととも、地下水の挙動を含む降雨一流出システムに変化を与えることになる。

崖地の利用形態の変化による影響は、改変された崖自身のみにとどまらない。崖地における変化は、崖下に接する谷底の低地はもとより、地下水位の変動などを通して、崖上の台地面における自然条件の変化にさえ及ぶことがある。

宅地の崖や擁壁が、豪雨や地震動などによって崩壊することがあれば、崩壊し流出した土砂は、崖下の家屋を損壊し、人命を奪う。また、林地から人工施設へと地表の被覆状態が変わるので、降雨の流出が早められる。こうしてみると、崖地の利用形態の変化は、中小河川の洪水流下速度とピーク流量の増大化に多少なりとも貢献し、川沿いの低地のはるか下流部における水害の発生にもかかわりをもつことが考えられる。

一方、崖の直上に道路が建設されたり、不完全な排水路がつくられたりして、崖面に地表水の集まりやすい状態がつくられると、崖くずれのポテンシャルは著しく増大する。また、擁壁の背後に滲透水が集中的に貯溜しやすい条件がつくられ、かつ擁壁の水抜きが不良であると、その崩壊の危険度が高まる。これらのことは、崖地の利用転換にあたって、崖地自体の性状にとどまらず、それに隣接する台地面、谷底低についても、広く目をくばる必要のあることを教えている。

崖をおおう林地は、多くの機能をもっている。それは、降雨の遮断や貯溜・浸透による流出時間の遅速化や、崩壊防止など、土地保全的機能を果たしているだけではない。緑地の少ない区部に生活する人々の心理的・生理的側面に対しても、多くのかかわりをもっている。こうした人間の側面に対する緑地の効果を量的に説明することは至難である。

しかしながら、技術化・施設化されつくされつつある都市における生活空間の中の貴重な“自然”として、また生活に安らぎを与える重要な景観要素とし

て、緑の植生の果たしている役割を否定することはできない。崖地の緑は、その占める地形上の位置からみて、広い範囲から眺望できるし、台地から低地への地形の変化を示す指標でもある。また、台地と低地という土地的性格の異なった地域を明瞭に遮断し、防火帯としての効果や、汚染された下層大気の動きをさえぎる機能のあることも否定できない。

崖をおおう緑の植生が、 $O_2$ や $CO_2$ など、人間の生存に直接のかかわりをもつ物質の循環に対して、どれだけの貢献をしているかを明確に示すことはむずかしい。しかし、その生育状態は、いわばハイトメーターとして、下層大気の汚染の状況を忠実に示してくれている。こうした意味では、緑の植生は「公害」のモニターとしての役割を果たすものといえる。

崖地の緑の植生が備えている機能の具体的な意味については、今後詳細な研究が行なわれる必要があるが、その担っている機能の多様性を考えると、それが除去され、施設によって置きかえられることによって生ずる問題は、多岐にわたってあらわれると考えるおこななければならない。

### 3. 山手台地における崖、擁壁の崩壊危険地域

#### 3-1 崩壊危険地域の予測の方法

台地地域に発生する自然災害のうち、破壊力のもっとも大きいのは、崖や擁壁の崩壊とそれに伴う土砂の流出による災害である。山手台地の地域においても、このことは同様である。崖や擁壁の崩壊による災害を防止するためには、崩壊の発生に関与する諸因子を明確するとともに、崩壊の危険地域を適確に予測し、適切な防災対策を講ずることが必要である。

##### (1) 遠観的予測法

災害の危険地域の予測は、いくつかの方法で行なうことができる。もっとも簡単なのは過去の経験則に基いて、危険度を遠観的に判定する方法である。地形・地質・地盤などの土地的因子が関与して生ずる自然災害については、過去の災害の経験則から、地形・地質・地盤などの土地的因子を、

災害ポテンシャルの大きさを指標として類型化・序列化し、それに基づいて地域区分を行なう方法がよく用いられている。区分された地域ごとの危険度を系統的に決める方法である。

こうした方法がとられる根拠は、自然災害に地域性ととともに、“くり返しのパターン(Recurring Pattern)”が認められるところにある。“くり返しのパターン”とは、ある種の土地的条件をもつ地域では、同じような規模の自然の破壊力の生起によって、類似の被害形態があらわれる傾向のあることである。土地的条件の特性に加えて、土地利用の変化が災害の激化やその頻発化に貢献していると考えられる場合には、土地利用の差異による災害のあらわれ方のちがいを類型化する方法がとられる。土地利用の類型に順位をつけ、それによって災害の危険度を予測する方法である。

こうした方法の場合、災害の発生に関与する1～数個の有意な因子が選ばれるのがふつうである。崖崩壊の危険度を知る場合には、傾斜や斜面形などの土地の因子と、誘因となる雨量とをとって、これらの相互関係から崩壊の危険度が予測される。この場合、まず、過去に崩壊した崖の調査を行ない、どの程度の雨で何度くらいの傾斜の、どのような形状の崖に崩壊発生頻度が高かったかを求める。そして、これをよりどころとして、傾斜の大小、崖の形状ごとに、崩壊の危険度が予測される。

## (2) 判別解析による予測法

上述の方法は主観的判断に頼るところが多いから、客観性に欠けるうらみがある。また、崩壊の発生に関与する因子は、上にあげた例のほかにも多数あるが、この方法では多くの因子の相互関連性から、崩壊の危険度を総合的・客観的に予測することは不可能である。最近では、多数の因子が関与して発生する判別解析がよく用いられている。この方法は、コンピュータを利用して行なわれるので、20～30個の判別因子をとりあげて、危険度を数学的に判定することと、災害の発生に関与する因子に順位をつ

けることが可能である。

筆者らは、東京都首都整備局建築指導部が実施した、山手台地（区部のみ）における高さ3 m以上、傾斜30°以上の崖・擁壁約22,600件の悉皆調査の結果を利用して、崩壊危険度の判別解析による予測を試みた。判別解析にあたっては、石原健二（気象庁）・鈴木栄一（青山学院大）の協力を得た。

この調査でとりあげられているおもな因子を、崖について例示すると、次のようになる。

高さ、長さ、勾配、崖の種類（自然・盛土・切土などの別）、擁壁の有無、土質、形状（ヨコ断面・タテ断面・オーバーハングの有無）、地表面状態（崖上・崖法面の土地利用）、水理状態（崖上、崖法面に地表水が集まりやすいかどうか、崖法面上・中・下部に地下水が滲出しているかどうか）、変形状態（崖法面上・中・下部にキレツ・ガリ・擁壁キレツがあるかどうか、土が移動しているかどうか）、経歴（過去に崩壊したかどうか）

ここでは、以上のような多数の判別因子を総合して、崩壊の危険度を判定するための判別式として次式が用いられた。

$$Y = a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_P X_P \quad (5.1)$$

$X_1$  及  $X_2$  ……  $X_P$  は、数量化された判別因子である。土質・形状・水理状態などの、カテゴリー量でデータが得られている定性的因子については、その崖・擁壁の過去の崩壊履歴のデータから崩壊の有無の2つのケースに分けて、度数解析を行ない、連続的数量を与えて定量化する。数量化は、

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= C \left( \frac{f_{A0}}{f_A} - \frac{f_{B0}}{f_B} \right) / (f_{A0} + f_{B0}) \\ x_1 &= C \left( \frac{f_{A1}}{f_A} - \frac{f_{B1}}{f_B} \right) / (f_{A1} + f_{B1}) \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned}
 x_2 &= C \left( \frac{f_{A2}}{f_A} - \frac{f_{B2}}{f_B} \right) / (f_{A2} + f_{B2}) \\
 \dots\dots\dots \\
 x_n &= C \left( \frac{f_{An}}{f_A} - \frac{f_{Bn}}{f_B} \right) / (f_{An} + f_{Bn})
 \end{aligned} \right\} (5.2)$$

を解いて行なわれる。ケースAは崩壊あり、ケースBは崩壊なしである。

(3) 判別解析の手順

判別式(5.1)の計算の手順のあらまきは、次のとおりである。

判別因子の数=P

ケースA(崩壊あり)、資料数=NA

ケースB(崩壊なし)、資料数=NB

全資料数N=NA+NB

$x_{i\alpha A}$ : ケースAの場合の*i*-因子のα番目の値

(α=1, ……………, NA)

$x_{i\alpha B}$ : ケースBの場合の*i*-因子のα番目の値

(α=1, ……………, NB)

<手順1> 各因子の2つのケース間の平均差の計算

$$\bar{x}_{iA} = \frac{1}{N_A} \sum_{\alpha=1}^{N_A} x_{i\alpha A}, \quad \bar{x}_{iB} = \frac{1}{N_B} \sum_{\alpha=1}^{N_B} x_{i\alpha B}$$

$$d_i = \bar{x}_{Ai} - \bar{x}_{Bi} \quad (i = 1, 2, \dots, P)$$

<手順2> 各因子の全平均、全偏差2乗和、全分数の計算

$$\bar{x}_i = \left( \sum_{\alpha=1}^{N_A} x_{i\alpha A} + \sum_{\alpha=1}^{N_B} x_{i\alpha B} \right) / N$$

$$= (N_A \bar{x}_{Ai} + N_B \bar{x}_{Bi}) / N$$

$$ST_i^2 = \left\{ \sum_{\alpha=1}^{N_A} (x_{i\alpha A} - \bar{x}_i)^2 + \sum_{\alpha=1}^{N_B} (x_{i\alpha B} - \bar{x}_i)^2 \right\}$$



<手順6> 各ケースでの判別値平均、分散、標準偏差の計算

$$\bar{Y}_A = \frac{1}{N_A} \sum_{\alpha=1}^{N_A} Y_{A\alpha}, \quad S_A^2 = \frac{1}{N_A} \sum_{\alpha=1}^{N_A} (\bar{Y}_{A\alpha} - \bar{Y}_A)^2, \quad S_A$$

$$\bar{Y}_B = \frac{1}{N_B} \sum_{\alpha=1}^{N_B} Y_{B\alpha}, \quad S_B = \frac{1}{N_B} \sum_{\alpha=1}^{N_B} (\bar{Y}_{B\alpha} - \bar{Y}_B)^2, \quad S_B$$

<手順7>  $Y_{A\alpha}$ ,  $Y_{B\alpha}$  の度数分布の作成と、判別値の共存範囲の設定  
 図5-2に示すように、区間[a, b]が判別値の共存範囲であり、既存の解析資料から、

a: ケースAにおける判別値の最小値

$$\equiv \text{Min } Y_{A\alpha} \quad (1 \leq \alpha \leq N_A)$$

d: ケースBにおける判別値の最大値

$$\equiv \text{Max } Y_{B\alpha} \quad (1 \leq \alpha \leq N_B)$$

として求められる。この範囲にある判別値では、ケースA(崩壊あり)のときも、ケースB(崩壊なし)のときも起こり得る。しかし、点aの左側はB、点bの右側はAと、それぞれ確実に判断できる区間である。したがって、この共存範囲が小さいほど、判別効率のよいことが期待される。

#### (4) 判別解析による崖、擁壁の崩壊危険度の予測

上述した判別解析の手順にしたがって、山手台地における崖4,200件、擁壁18,412件、合計22,612件について、崩壊危険度の判別が行なわれた。解析に用いられた判別因子の数は、崖27、擁壁25である。(表5-1、2参照)なお、解析の対象とされた崖・擁壁のうち、過去に崩壊した履歴のあるもの(ケースA)は、崖226、擁壁322であり、いずれも崩壊なし(ケースB)の数に比較して、圧倒的に少ない。そこで、度数解析とカテゴリー量因子の数量化にあたっては、各ケースの総数に対する相対度数が用いられた。

手順4によって、(5.1)式を解いて求められた各因子の判別効率の大きさの順序は、表5-1、5-2に示すとおりである。崖については、かな

り妥当な結果であるが、擁壁については、築造の時期や最低の高さなどが上位にランクされているので、問題がないとはいえない。こうした結果は、調査項目の選定、判別因子の選定のいかんによっても生ずる。しかし、いずれにしてももっぱら数学的な解析が行なわれるため、算出された数値には相対的な意味しかないので、物理的意味についての検討がなされる必要がある。

崖・擁壁のおのおのについて、(5.1)式の判別係数を求め、それぞれについての判別式を作成し、判別値(Y)が求められる。Yの全データの平均値、崩壊なしのケースの平均値、崩壊ありのケースの平均値を示すと表5-3のようになる。ここでは、崖、擁壁のそれぞれについて、全判別値の平均値が判別境界として用いられた。崖ではYが0.05574以上のものを崩壊の危険あり、擁壁ではYが0.02074以上のものを崩壊の危険ありとして判定された。

ここで、全判別値の平均値を危険あり、なしの判別境界としたときの判別結果と、現地調査による実測の結果とを比較すると表5-4のようになる。判別結果の適中率は、崖70.05%、擁壁57.17%で、擁壁についての判別成績はよくない。これは、表にみるように、擁壁の場合には崩壊履歴のあるデータ数が、崩壊なしのデータ数に比較して圧倒的に少ないことによる。一般に、判別成績は、あり(A)、なし(B)の両ケースのデータ数が同数に近いほどよいとされている。

ここでは、判別結果 適中効率をよくするため、崩壊の危険ありのケースの判別値の平均値(崖0.18707、擁壁0.0423)を境介として、それ以上の判別値をもつ崖・擁壁を崩壊の危険度大とすることにした。また、全判別値の平均値と、崩壊の危険ありのケースの平均値との間の判別値をもつ崖・擁壁は、危険度中とすることにした。個々の崖・擁壁について判別した結果を区別に集計し、表5-5に示しておいた。山手台地の区部を全体としてみると、崖の9.9%、擁壁の11.4%が危険度大として判定されている。また、崩壊の危険あり(危険度大と中)と判定された崖・擁壁の総件数は、全体の41.8

%である。調査対象となった崖・擁壁の半数近くが、程度の差こそあれ、崩壊の危険性を内在していると考えなければならない。

### 3-2 危険崖・擁壁の分布と危険地域

表5-5にみるように、危険度大の崖が多いのは、北・板橋・太田の各区であり、板橋区では総件数の40.2%までが危険度大と判定されている。中野区では総件数は少ないが、危険度大の崖が30.9%を占めている。一方、擁壁では、港・文京・太田区に危険度大のものが多く、板橋・千代田・北区では危険度大の擁壁が占める割合が高い。

区別にみた危険崖・擁壁の件数の大小と、その総件数に占める割合の特徴は、それぞれの区域における土地的条件の差異や、開発の新旧などに基因するものであることを予想させる。これらの点に関連して、図5-1と、図5-3~5とを比較しながら若干考察してみよう。図5-3~5から明らかのように、崖と擁壁とは若干のずれは認められるが、全体としてみると、崩壊危険度の大きい崖・擁壁は、山手台地の北東部、東部、南東部に集中している。北東部の地域では荒川の低地にのぞむ板橋・北区域における崖が主体であり、南部の地域では多摩川の低地と谷川とその支谷にのぞむ崖に集団をなして分布している。台地の東部では、港区に危険な擁壁が集中し、中小河川沿いでは、神田川・古川・目黒川などとそれらの支谷にのぞむ崖に、危険崖・擁壁の密集地がつかっている。

以上に指摘した危険崖・擁壁の密集地域は、おもに台地の崖の比高の大きい部分を占めている。太田区域の荏原台・新宿・渋谷・目黒・千代田・港区の淀橋台、板橋区域の徳丸台のように、山手台地の中でも一段高かつ古い台地面（下末吉面）の崖に沿って、崩壊危険度の高い崖・擁壁の密集地域がみられるのである。（図5-1参照）。これらの古い台地面は、豊島台・本郷台（武蔵野面）などの一段低い台地面に比較して、谷による開析がすすんでいる。このことは、崖の比高が大きいこととあいまって、宅地化による改度の対象となる崖の延長が長いことと、階段状平坦面の造成による不安定斜

面の形成されやすい地域であることを示している。事実、図5-1にみるように、古く高い台地面では、人工的に改変の対象されている面積が広い。

淀橋台や荏原台・徳丸台などでは、本郷台などとはちがって、台地の基盤地質をなす東京層と表層の関東ローム層との間に礫層に代って粘土層がはさまれている。難透水性の粘土層の存在は、淀橋台や荏原台などの地域の崖で、上部の透水性のよい関東ローム層と粘土層との境界付近で地すべり性の崩壊の発生しやすい条件を与えている。最近の例では、22号台風(1959・9・26)や4号台風(1961・6・28)などによる集中豪雨によって、こうした形での崩壊が多発している(図5-6)。

図5-1にみるように、山手台地の崖の多くは、人工的に改変されている。とすれば、危険崖・擁壁の分布と人文的要因との関係に言及しておく必要がある。危険崖・擁壁の分布は、たしかに、崖の自然的特性の地域差とよく対応している。しかし、山手線の内部やその沿線部、あるいは太田区の部分のように、早くから宅地として開発された地域に、危険崖・擁壁、とくに擁壁の密集する地域が集中している。これは、偶然の一致であろうか。さきに述べたように、これらの地域では、崖地のいっそうの改変が行なわれている。台地北東部の板橋・北の両区や世田谷区の西部などでは、最近の宅地化地域に危険崖・擁壁が集中している。

### 3-3 降雨との関係

上に述べたのは、土地的因子の相互関連性から判別された、崩壊の危険度についての議論である。したがって、崖・擁壁の潜在的危険度が述べられたにすぎない。実際の崩壊は、豪雨や地震動などの外力が加わってはじめて起こる。そこで、降雨や地震動など誘因の強さと崩壊との関係についての吟味が必要とされる。こうした誘因との関係は、一般に、模型実験や力学モデルによる検討などによって追求される。しかし、こうした方法による災害危険度の地域予測法はまだ確立されていない。したがって、現段階では、経験的方法や統計的手法に頼らざるを得ない。

ここでは、最近における事例を集めて、雨量と自然斜面や人工の斜面の崩壊との関係について検討し、上述した山手台地における危険崖・擁壁がどの程度の雨量で崩壊しはじめるかについて考えておきたい。表5-6は、斜面における物質の移動 → 崩壊の発生に必要と考えられる有効積算雨量を、各種の斜面について台地地域と山地地域とに分けて示す。ここで有効積算雨量として2時間雨量をとったのは、降り始めてから2時間までの雨量に相当する雨量で、崩壊の発生頻度の高い傾向が認められるからである。

表にみるように、台地地域における各種の斜面は、山地地域の斜面よりも、一般に少ない雨量でくずれはじめると考えられる。また、斜面や崖の改変の程度や、擁壁被覆の状況、崖上付近の排水状態などによって、崩壊の開始に必要な雨量は異なる。こうした点を考慮して、判別解析による危険度の崖・擁壁の崩壊について予測すると、次のようになる。

擁壁被覆のない盛土や切土の斜面は、降り始めてから2時間までの積算雨量が30~40mmをこえるとくずれはじめる。2時間雨量が50mmをこえると自然の崖もくずれはじめ、75mm以上になると法面の一部に擁壁をもつ切取斜面の崩壊がはじまる。また、2時間雨量が100mmをこえる場合には、擁壁で十分に防護された法面の崩壊もはじまるとみられるので、危険度大と判定された崖・擁壁の大部分がくずれ、危険度中の崖・擁壁にもくずれるものがでよう。1959年9月の22号台風の豪雨では、1時間最大雨量約70mm、24時間雨量372mmの強度の雨で、都区内の崖・擁壁を合わせて約400件が崩壊している。

もし仮りに、崩壊のきっかけを与えるに有効な雨量が明らかになったとしても、そのような雨がいつ地域を襲うかについては不明である。擁壁などの防災基準を定め、崩壊の防止対策を計画するためには、一定規模以上の雨量の再現期間を求めておかなければならない。表5-7は、東京における1時間雨量の極値とその再現期間を示す。仮りに、崩壊の発生に有効に作用する雨が1時間の間に集中して降るとすれば、10年に1回の雨でもくずれはじ

める崖や法面のあることが期待される。また、100年に1回の雨の場合には、危険度の崖・擁壁のほとんどが崩壊する可能性があると考えなければならぬであろう。崩壊件数は1,000件を上回ると考えられる。

人命の損傷を最小限にとどめることは、防災の基本である。崖・擁壁の崩壊とそれに伴う土砂の流出による人的被害を未然に防止するためには、危険崖・擁壁に関係する地域住民の安全な場所への事前の避難が考えられなければならない。このためには、崖・擁壁の潜在的危険度の適確な予知とともに、地域に則した適切な雨量予報が行なわれる必要がある。

台地・丘陵地域における、もっとも破壊的な災害は、しばしば、宅地造成に伴う自然の改変の過程で生じている。こうした典型的な事例として、鹿児島市周辺シラス台地の大規模宅造地域における、1969年6月梅雨前線集中豪雨による崩壊と土砂の流出によって引き起こされた災害をあげることができる。東京付近では、4号台風(1961.6.28)の集中豪雨により、多摩丘陵の開発途上で発生した災害の例がある。山手台地においても、規模こそ小さいが、崖地の宅地化の途中における崩壊と土砂の流出は、しばしば発生している。

宅地造成の過程では、一般に防災対策が十分とはいえない。しかし、豪雨などによる崖や斜面の崩壊と土砂の流失の起こりやすさと、それらの周辺に与える影響の重大性を考えると、植生の除去、切土・盛土・埋立てによる開発の過程における防災対策をないがしらにすることはできない。

#### 4. むすび — 残された課題

さきに指摘したように、判別解析による災害危険度の予測法は、もっぱら統計的手法に頼るため、物理的根拠に欠ける結果をもたらすことがある。これについては、経験則や物理的モデルによる検討などによって補なわれることが必要である。

災害の地域予測は、破壊力となる異常な自然現象、これを受ける地域の土地

の条件の反応、これによって生ずる人的、物的被害の3つの予測対象についての、一貫した予測が行なわれてはじめて可能となる。崖・擁壁の崩壊についていえば、これらが崩壊することによって生ずる人的・物的被害の予測が定量的になされてはじめて、災害の予測が完結する。

しかしながら、予測は将来起こるであろう現象を対象として行なわれるものであるから、将来における土地利用の変化と、それに伴う自然のシステムの変化の予測までを含めた検討がなされない限り、完璧な予測はなしえない。地域の将来における自然、人文の両面にわたる変化までを包含した、災害予測の総合的モデルをつくることは、今後に残された課題である。また一方、崖地利用の変化に伴って生ずる諸問題のように、物理・化学的あるいは生物学的プロセスが早急に解明されなければならない問題も残されている。

本研究にあたっては、中野尊正・田治米辰雄・望月利男・松田磐余のほか、石原健二（気象庁）・鈴木栄一（青山学院大）の協力を得た。記して謝意を表する。

（門村 浩）

### 参 考 文 献

- 浅野 隆（1970）：仙台周辺丘陵地における地形の人工改変、東北地理、22 152-160
- 井関弘太郎・加藤英生・御船 哲（1967）：大規模住宅開発の適地選定に関する地理学的研究 — 名古屋都市圏を例として — 人文地理、19、491-513
- 石原健二・鈴木栄一（1970）：東京都におけるがけ・擁壁の崩壊の有無に関する判別解析（仮印刷）、60P
- 門村 浩（1966）：静岡地域の軟弱地盤とそれに基因する災害の予測、地学雑誌、75、226-248、282-293
- （印刷中）：災害の防止と予測、地域の開発と環境の保全（西村嘉

助編)、大明堂

貝塚爽平(1964):東京の自然史、紀伊国屋新書、紀伊国屋書店、186P

菊地光秋(1960):狩野川台風による東京西郊の水害の性格、地理評、33  
184-189

木野義人(1969):シラス地域の豪雨災害 — 44年梅雨前線豪雨に関連して、地質ニュース、182、40-48

木下武雄(1968):都市化による流出の変化、土木技術資料、9、445-449

丸安隆和・清水仁・嶋田厚二(1968):都市における自然災害、とくに崖崩れ危険度予知についての研究、土木学会論文集、159、77-89

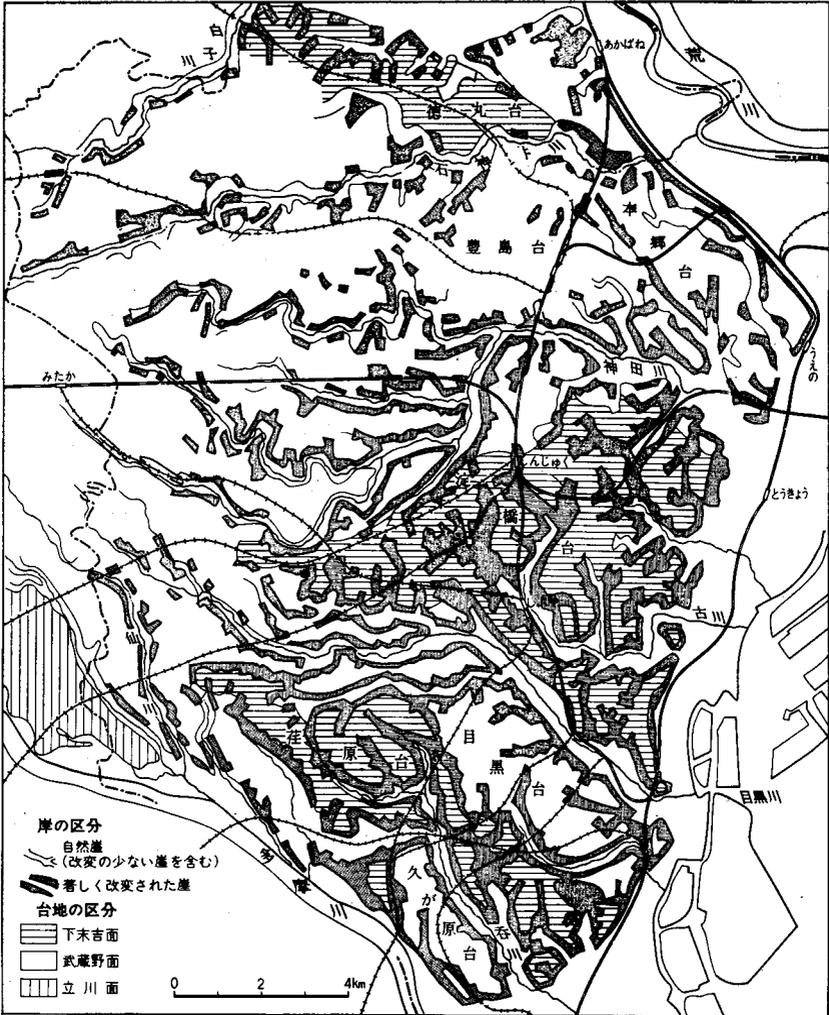
中野尊正ほか8名(1970):都市化にともなう自然環境の変化(1) — 鶴見川流域の例 — 都市研究調査報告2、45P

岡重文・桂島茂・清水道也(1969):ローム台地の崖くずれ — 川崎市の場合 — 地質ニュース、176、19-27

佐藤俊雄(1969):横浜市における宅地造成の地理学的研究、地理評、42  
363-375

田中茂(1968):昭和42年7月豪雨による崩壊斜面の基礎調査、建設工学研報告、11、145-189

図5-1 山の手台地における崖の人工改度地の分布



(資料) 崖の区分: 1966.11.4撮影の1:20,000空中写真、国土地理院(1969):1:25,000土地条件図  
台地面の区分: 貝塚(1964)

(注) 自然崖の多くは林地になっているが、人工の加わっていないものは少ない。著しく改良された崖の多くは、切土と盛土によって階段状に変形されている。法面には擁壁が築造されているケースが多い。

図5.2 判別値の共存範囲

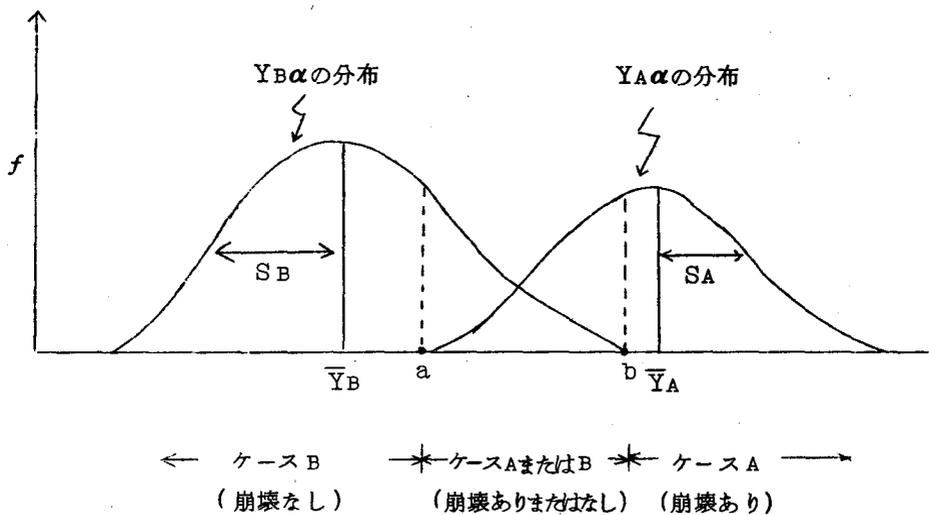
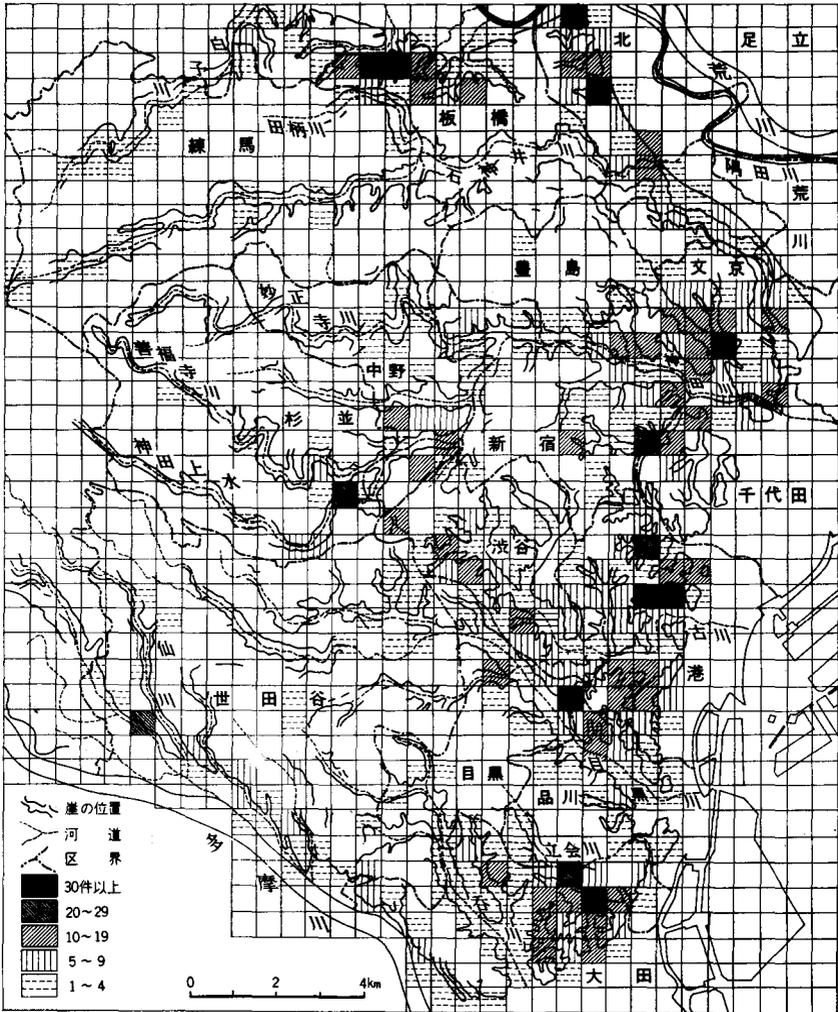


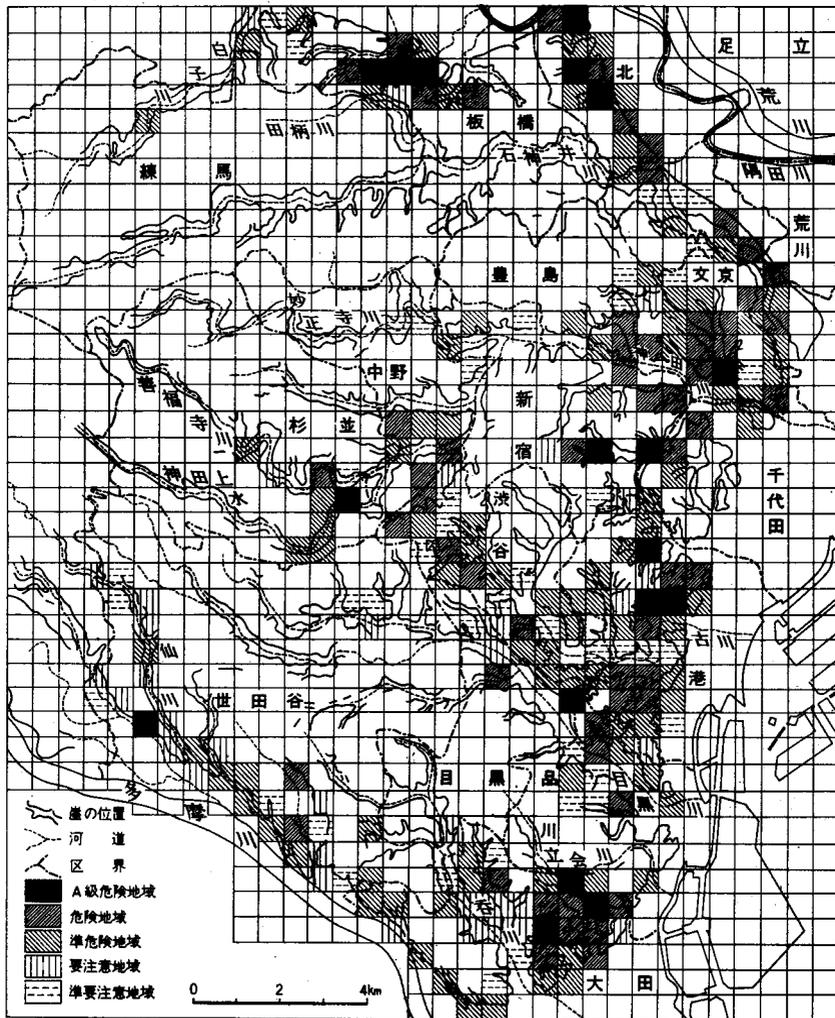


図5-4 判別解析による危険度大の擁壁件数の分布(門村、松田1970)



(注) 600m×600m方眼内の合計件数を示す。  
 (資料) 東京都首都整備局建築指導部(1970)、石原、鈴木(1970)

図5-5 判別解析による危険度大および中の崖、擁壁の分布からみた危険地域と要注意地域(門村・松田1970)



(注) A級危険地域：危険度大の崖・擁壁の合計数が20以上の方  
 危険地域：危険度大の崖・擁壁の合計数が10以上の方  
 準危険地域：危険度大の崖・擁壁の合計数が5-9の方  
 要注意地域：危険度中の崖・擁壁の合計数が20以上の方  
 準要注意地域：危険度中の崖・擁壁の合計数が10-19の方

(資料) 東京都首都整備局建築指導部(1970)、石原・鈴木(1970)



表5-1 判別効率の順位とその値(崖)(石原・鈴木 1970)

順位	因子名	判別効率
1	変形状態 土の移動	0.48233
2	変形状態 がり中	0.16127
3	形 状 オーバーハング	0.11578
4	形 状 タテ断面	0.09585
5	擁壁の位置	0.07421
6	水理状態 地表水 上	0.06957
7	1件最低の高さ	0.06280
8	匂 配	0.05850
9	1件長さ	0.05751
10	形 状 ヨコ断面	0.05730
11	変形状態 きれつ中	0.05556
12	地表面状態 がけ法面	0.05078
13	変形状態 がり下	0.04916
14	1件最高の高さ	0.04574
15	水理状態 地表水 中	0.04294
16	変形状態 がり 上	0.04148
17	変形状態 擁壁きれつ	0.03940
18	変形状態 きれつ 上	0.02492
19	変形状態 きれつ 下	0.02386
20	1個所全高さ	0.02265
21	水理状態 地下水の滲出上	0.01802
22	土 質	0.01723
23	水理状態 地下水の滲出下	0.01610
24	がけの分類	0.00827
25	1個所全長さ	0.00148
26	水理状態 地下水の滲出中	0.00025
27	地表面状態 がけ 上	0.00025

表5-2 判別効率の順位とその値(擁壁)(石原鈴木 1970)

順位	因子名	判別効率
1	築造時期	0.10046
2	1件最低の高さ	0.05887
3	水理状態 排水溝擁壁下	0.05623
4	変形状態 傾 斜	0.05473
5	変形状態 はらみ	0.04310
6	水理状態 目地等より滲出	0.04235
7	1件最高の高さ	0.04023
8	水理状態 地表水擁壁下	0.03334
9	変形状態 きれつ	0.02537
10	1個所 全高さ	0.02330
11	水理状態 地表水擁壁上	0.02283
12	変形状態 不同沈下	0.02204
13	変形状態 風 化	0.02046
14	水理状態 排水溝擁壁上	0.01672
15	1個所 全長さ	0.01571
16	匂 配	0.01412
17	土 質 擁壁上	0.01158
18	1件長さ	0.01095
19	水理状態 水抜き穴状態	0.00841
20	構 造 積 方	0.00841
21	背面地表状態 角 度	0.00029
22	背面地表状態 高 さ	0.00018
23	水理状態 水抜き穴	0.00012
24	土 質 擁壁下	0.00006
25	構 造 材 料	0.00006

表 5-3 かけについての判別値平均(石原・鈴木 1970)

崖	崩壊なしのケースの判別値平均	0.04792
	全判別値平均	0.05574
	崩壊ありのケースの判別値平均	0.18707
擁壁	崩壊なしのケースの判別値平均	0.02029
	全判別値平均	0.02074
	崩壊ありのケースの判別値平均	0.04203

表 5-4 崩壊履歴と判別結果の比較(石原・鈴木 1970)

崖	判別 \ 履歴	崩壊なし	崩壊あり	計
	崩壊なし	2757	51	2808
	崩壊あり	1207	185	1392
	計	3964	236	4200
擁壁	判別 \ 履歴	崩壊なし	崩壊あり	計
	崩壊なし	9652	73	9725
	崩壊あり	7372	287	7659
	計	17024	360	17384

表 5-5 崖・擁壁の崩壊危険度判別結果の一覧表(松田 1970)

区名	総件数			危険度大						危険度小						危険度がおよび大合計					
	崖	擁壁	計	崖		擁壁		計		崖		擁壁		計		崖		擁壁		計	
				件数	百分率	件数	百分率	件数	百分率	件数	百分率										
千代田	51	259	310	4	7.8	64	24.7	68	21.9	15	2.94	59	22.8	74	23.9	19	37.3	123	47.5	142	45.8
港	289	1549	1838	31	10.7	282	18.2	313	17.0	72	24.9	554	35.8	626	34.1	103	35.6	836	54.0	939	51.1
新宿	124	877	1001	16	12.9	131	14.9	147	14.7	21	16.9	260	29.6	281	28.1	37	29.8	391	44.6	428	42.8
文京	228	1362	1590	36	15.8	231	17.0	267	16.8	83	36.4	492	36.1	575	36.2	119	52.2	723	53.1	845	53.1
台東	57	331	388	0	0	19	5.7	19	4.9	8	14.0	81	24.5	89	22.9	8	14.0	100	30.2	108	27.8
品川	220	1437	1657	16	7.3	199	13.8	215	13.0	51	23.2	451	31.4	502	30.3	67	30.5	650	45.2	717	43.3
目黒	47	637	684	1	2.1	61	9.6	62	9.1	4	8.5	160	25.1	164	24.0	5	10.6	221	34.7	226	33.0
大田	902	3879	4781	65	7.2	214	5.5	279	5.8	178	19.7	1037	26.7	1215	25.4	243	26.9	1251	32.3	1491	31.2
世田谷	848	2430	3278	33	3.9	144	5.9	177	5.4	277	32.7	941	38.7	1218	37.2	310	36.6	1085	44.7	1395	42.6
渋谷	97	1746	1843	9	9.3	198	11.3	207	11.2	16	16.5	439	25.1	454	24.6	25	25.8	637	36.5	667	36.2
中野	68	358	426	21	30.9	48	13.4	69	16.2	18	26.5	106	29.6	124	29.1	39	57.4	154	43.0	193	45.3
杉並	558	887	1445	25	4.5	52	5.9	77	5.3	64	11.5	184	20.7	248	17.2	89	15.9	236	26.6	325	22.5
豊島	40	500	540	12	30.0	32	6.4	44	8.1	13	32.5	142	28.4	155	28.7	25	62.5	174	34.8	199	36.9
北	376	825	1301	70	18.6	184	22.3	254	19.5	80	21.3	457	55.4	537	41.3	150	39.9	641	77.7	791	60.8
	64	185	249	3	4.7	12	6.5	15	6.0	9	14.1	26	14.1	35	14.1	12	18.8	38	20.5	50	20.1
板橋	155	690	845	67	43.2	192	27.8	259	30.7	41	26.5	454	65.8	495	58.6	108	69.7	646	93.6	754	89.2
練馬	76	240	316	6	7.9	41	17.1	47	14.9	14	18.4	117	48.8	131	41.4	20	26.3	158	65.8	178	56.3
計	4200	18412	22612	415	9.9	2104	11.4	2519	11.1	964	23.0	5960	32.4	6924	30.6	1379	32.8	8064	43.8	9443	41.8

表 5-6 斜面物質の移動と有効積算雨量(2時間)(中野)

斜面の種別	地形地域	台地	山地
盛土・築堤		30~45mm	50mm±
盛土・築堤+不完全擁壁		40~50	50±
“+擁壁		100±	100~150
切取り法面		50	50~75
自然の崖・斜面		40~75	100以上
切取り法面+不完全擁壁		75~100	75~100
“+擁壁		100~150±	200~250
土石流堆積物		?	75~100

5-26

表 5-7 1時間雨量の極値とその再現期間値(東京)(石原)

再現期間	10年	20年	30年	50年	100年
台風の雨も含めたすべての雨	5.6mm	6.2mm	6.5mm	6.8mm	7.2mm
台風のウズ性降雨をのぞいた雨	5.0	5.4	5.6	5.8	6.2

## 第6章 今後の課題

### 1. 都市化による自然システムの変化

この報告では、都市化という術語を社会学や地理学などで規定する都市の社会的発展の過程といった内容のうち、都市的土地利用の拡大、変質といった内容に限定して使用した。したがって、都市の社会、経済的分析にはふれず、都市地域における土地利用とその変化に注目しつつ、その影響が自然のシステムに及ぼす、あるいは相互の関連のある側面を解析するといった態度をとった。

自然発生的であれ、計画的であれ、都市の拡大成長は人間の意思によつている。人間は規模の大小、種類の如何、施設の強弱をとわず、都市的土地利用の具象的表現としての施設をつくり、施設を利用して生産、消費の行為をおこなつている。またそれに必要な管理、流通の機能も、学術文化の機能も都市にはつきものである。これらの個々の分析は社会科学の研究にゆだねるべきことである。しかしながら、都市における社会的経済的活動に必然的にもなり諸施設は、何等かの形式と程度をもつて、自然とかかわりを持ち、自然のシステムに変化を与える。この研究はこの点に注目しつつ、土地と水を中心に検討を進めてきた。土地と水のほかに、大気も研究対象になりうるが、別の研究者の報告にゆだねることにした。

土地と水を中心に、考えるとき、自然のシステムの破たんは、いわゆる自然災害や自然的公害の形で具体的に人々にかかわりをもつ。ここに自然的公害というのは、自然が介在する「公害」と考えてよい。

しかし、自然災害や自然的公害の深い研究は、それ自体自然科学や工学の研究分野を構成するものである。そこでこの研究ではより一般的に都市的土地利用ないしは施設化が進むにともなつて、自然のシステムがどのようにくずされ、どこでどういふ問題を人々に与えるかといった一連の変化を整理し、都市にとつて自然環境がどのような意味をもつのかを明らかにしていくことを考えている。

こうした研究を体系化し、理論を確立するためには、都市における人間＝環境システムに関するより広範な調査研究が必要である。この研究には、人間が自然環境についてどう考え、どう反能するかといった面の基礎資料が必要である。幸い、国際地理学連合の人間と環境に関する委員会が、1968年いらい活動を開始しており、筆者等もその研究に協力しているので、日本における事例とともに、比較研究の対象となりうる他の国の事例も逐次集積される状況にあるので、何れこのテーマについての理論化が可能になるう。

これまでの研究をみると、たとえば災害科学の研究では、自然現象それ自体の研究のなかに、自然的異常現象を解明するカギがあるという考え方をとっている。そこであきらかにされるのは自然的異常であり、自然システムの変化の特色である。変化を諾きおこす要因には自然的要因もあるし、人為的要因もあるから、この研究方法論では、人為的变化の発見については、もう一段階の科学的操作が必要になる。自然のシステムの変化を、自然的变化と人為的变化に分離することである。たとえば、都市化がすすむと河川の流出に変化がおこると考えられているが、河川の流出は数多くの要因に支配されている。大雨Aと数年後の別の大雨Bのあとの河川の流出を同一河川についてしらべると、A、Bの雨のふり方が類似していても、別の流出が記録される。両者の差は、A、Bの雨のふり方とともに、A、Bの雨の発生した期間における流域の土地利用の変化に由来する。したがって、流出率を機械的に比較するだけでは、その差をもつて都市化による差だと断定することはできない。この例示の場合、さらに研究を困難にしているのは、都市域における中小河川に関する水文学的資料がきわめてほしいこと、「都市化」をどのように数量化するかに困難があることである。あきらかに有差の差を都市化によるものと断言できる例はすくない。

そこで、精度はおちるにしても、都市化によつて自然のシステムがどのように変るかについて、演繹的に整理し、その事例を現地にあたつて考え

方を整理しなおすことである。こうした研究のなかから、人為的変化の特色が自然的变化に関する自然科学的研究成果の集積とてらして明らかになつてくるはずである。

## 2. 都市における自然災害、自然的公害の発生機構

都市における自然災害、自然的公害の発生機構の研究は、いわば上記の都市化による自然システムの変化の異状な場合について研究する。しかも自然科学的研究の成果をふまえて、人為的影響を発見整理することに重点をおくことになる。

自然災害や自然的公害の発生、被害の拡大にかかわる人為的条件は、かつて整理した表6-1にみるように、多岐にわたっている。この表は補訂され、各アイテムが数量化できるように工夫されるべきであろうし、地域的にも差異のあることをくみこむ必要がある。また自然的素因が人為的に変形し、あたらしい人為的自然素因ともいべき条件が関与すること、前述の地盤沈下の例であきらかであろう。

こうした考え方、理論的体系の樹立にあつては、自然災害の例についていえば、誘因としての外力（たとえばある規模以上の地震）をうけて、地震波動の伝播、その媒体としての地盤、地盤につくられた各種構造物を通じて、人間やその財にあたる影響、その影響をうけた人間のリアクション、被害の発生、拡大、二次的災害、（大地震にともなう火災）の発生、被害の拡大など、一連の現象を、地域差を考慮しつつ研究することになる。また、これら一連の現象に、直接的間接的に関与する政治や行政の問題にも眼をむけることになるし、被害の実態についての社会科学的分析も必要になる。

ここにおいて、研究方法論のことなる自然科学、地域科学、社会科学の共同によるあたらしい方法論の確立と、それにもとづく一般的法則の定立とあわせて、地域的法則の樹立が必要になる。後者については電子計算機による地域的解析を高速度で実施できるようになつてきたので、従来の帰

納的經驗的法則をより一層高度化することができるであろう。まだこの分野の研究 — 調査例は多い — は未開発のまゝのこされている。

### 3. 人間にとって自然、自然環境とは何か

これまでの学問体系のなかで、自然、自然環境、人間の相互の関係にもつと注目をはらってきたものの一つが地理学であつた。その歴史は数年におよびながら、人間にとって自然、自然環境の意義を明確にするにはいたつていない。

自然、自然環境がもつとも明確に人間との関係を顕在化するのは、自然災害や自然的公害が発生し、人間が死傷をうけるときであり、生物が死傷をうけるときである。この現象の一部は医学や生物学において追究されているし、対策としての医学や生物学も実在する。

しかしながら、眼にみえた被害が出ない時には、人間にとって自然とか、自然環境がどのような意義をもつかについて、根源的な追究はおこなわれない。世界的な公害問題の展開のなかで、あらためてこの問題を研究しなければならない事態にたちいたつているが、各種の議論はデータ不足の面をおおいきれないでいる。

都市は人間の空間としてもつとも自然、自然環境の意義が軽視されている空間であり、またしたがつて、都市と自然、自然環境をめぐる諸問題について、もつとも深刻に追究されるべき対象である。このためには、基礎となる資料の整備とあわせて、哲学的研究が必要である。

公害や自然災害による被害が発生しなくとも、都市にとって自然とは何かが明らかにされているべきであろう。全く未開発の研究分野の一つである。

以上、3つのテーマを今後の課題としてあげたが、これ以外にもテーマはある。前章までとの関連から、3つに限定したにすぎない。また、この研究が純粋な自然科学的研究を意図しているのではなく、社会科学、地域科学との共同の必要性を痛感しつつ、都市そのものと自然との関係を追究

していくことに主眼がおかれていることもあつて、3つのテーマに限定したのである。また、これらのテーマを追究していくと、人間の立場から都市への提言が必要になるし、またその具体化のための計画理論の樹立も必要になる。また研究体制としては、地理学、生態学、公衆衛生学、地球化学、水文学といった自然科学的諸分野の研究者と、社会科学者の協力が強く要請される。哲学、心理学、教育学といった一見無縁に見える分野の研究者の協力さえ必要になる。

## あ と が き

この研究は昭和43年度からの3カ年計画による都市研究のなかで、災害、公害分野の研究テーマとしておこなつたものである。災害、公害分野の研究には自然科学的工学的研究とともに、社会科学的研究がこれまでにおこなわれているし、地域科学の立場から地理学的研究もおこなわれている。しかし、各専門分野の領域内での研究が主であつて各自の分野から他の分野を結ぶ複合的ないしは総合的研究には欠ける面が多かつた。また、都市に視点をすえ、都市との関連において考察するという点にも不十分な点が多かつた。

そこでこの研究では、共同しやすいと考えられる土木、建築の専門家との共同を考え、地理学の分野においても地学的色彩の強い分野から、人間とか都市との関連を考える研究者をもつて研究班を組織した。さいわい、代表者は文部省科学研究費による研究において、これらの分野の専門家との交渉があつたから、地域科学的な面からの過去の研究体験をいかしつつ、つとめて自然科学から社会科学への橋渡しをはかるようつとめた。その結果は、代表者の能力不足もあつて充分には結実してはいないけれども、今後の研究展開では大いにうるところがあつたと考えている。

対象地帯としては東京低地、山の手台地、多摩丘陵とタイプのことなる地帯をとりあげたが、それぞれに問題のあり方にちがひがあり、地域的法则を確立していく足がかりをうる点では好都合であつた。東京低地の研究

では経済学の研究者や都市地理学の研究者に示唆される点が多かつたし、山の手台地の研究では住居地域研究の関係者に学ぶ点が多かつた。また、多摩丘陵については、地域開発、河川工学、地球化学などの研究法を学びとるのに好都合であつた。対象地域が広く、このため実態調査が手りすになつた面はあるが、幸い東京低地については東京都防災会議、千葉県地盤沈下対策委員会その他の資料、山の手台地については東京都首都整備局の資料、鶴見川を中心とする多摩丘陵東部については横浜市その他の関係機関の資料など、詳しい資料を活用できたので、現地における実態調査の不足を補うことができたと考えている。

こうした研究テーマについて、新しい理論の確立を意図すると、理想的には方法論の検討、それにもとづく詳しいパイロット調査、方法論の再検討、詳しい実態調査による方法論の検証といったステップをふむのがのぞましい。また、この研究では一般化に不備の多いことは認めざるをえないが、詳しい実態調査のために何をどう処理すべきかの見当はつけたつもりである。後続の研究によつて逐次改善したい。

本文中にも述べたが、国際協力で実施中の都市における人間、環境研究も近くこの研究の一環として発表したいと考えている。 (中野尊正)

表6-1 災害の分類 (中野, 1965)

		社会的損失					
		災		害		社会悪の例	
分類	天災	自然災害		公共災害(公害)		犯罪	戦争
		人災		自然的公害	人為的公害		
素因	人為的素因		人為的素因			人為的素因	
	自然的素因	社会的素因 施設の素因	自然的素因	社会的素因 施設の素因			
誘因	自然的誘因		人為的誘因(加害の意志なし)		加害の意志あり	(加害の意志あり)	
	種類	接続時間 発生の緩急	種類	接続時間 発生の緩急			
		被害発生または発生開始					
被害の拡大・阻止条件	拡大阻止の条件	拡大の条件	拡大阻止の条件	拡大の条件	警察 防犯体制	国際政治 軍備 査察	
	防災施設 避難救助 応急復旧 保険補償制度	自然の状態 社会の状態 経済の状態 施設の状態 管理中枢の状態	防災対策 法的規正	自然の状態 社会の状態 経済の状態 企業の状態 施設の状態 管理中枢の状態			
被害	(自然の) 変形変状	社会的被害 経済的被害 施設の被害	(自然の) 変形変状	社会的被害 経済的被害 施設の被害	特定小數者 財産 人命の死傷	人的的 経済的 特定目標および不特定多數 に対して	
	予防対策	応急的対策	予防的対策	応急的対策	司法 警察	国際政治の円滑化	
対策	予知の研究 予測の研究調査 予防災工事 被害軽減体制の 確立 転出・分散	予警報 避難・救助 応急工事 復旧工事 陳情住民運動 保険補償制度	予測的調査研究 防除施設 被害軽減体制 の確立 転出・分散	予警報 救助・補償 陳情住民運動			
	季節性のある災害	季節性のない災害	季節をえらばない傾向大				
災害の種類	風水害 湿害 雪害 干害 低温害 高潮洪水 動物災害 海難	日照不足害 霜害 雹害 酷暑害 地すべり山くずれ	地震 火山活動 津波 地下埋設管の 災害 大気汚染 水質汚濁 地盤沈下 落盤陥没 火災 ダム災害(ダム 津波・ダム地すべり)	産業災害 交通災害 騒音害 振動害 汚悪臭	殺強通せ 人盗魔 人盗魔 など	戦争 災害	

昭和 46 年 3 月 20 日 印刷

昭和 46 年 3 月 31 日 発行

印刷物規格表第 2 類

印刷番号 (45) 2272

刊行物番号 (S) 14

## 都市研究報告 第 14 号

編集・発行 東京都立大学都市研究委員会

代表者 中 野 尊 正

東京都目黒区八雲 1-1-1

印刷所 京浜印刷株式会社

東京都品川区南大井 4-7-3