

# 人間生活とエネルギー消費

尾 島 俊 雄\*

## 1. 人間生活と熱エネルギー

夏は暑いにきまっているし冬は寒いにきまっておる、夜は暗いし昼は明るいにきまっておる、と私どもの子供のころに大人たちが口ぐせのようにこういって怒ったものである。それが不思議なことに、夏になると、車の中や事務所が寒いといけなからカーディガンを持って行きなさいとか、スカートじゃなしにズボンをはいて行った方が良くとか忠告するのが日常的になり、夏が寒くて冬が暑いというのも、全く不思議でなくなってきた。

冷房のしすぎや暖房の効きすぎに対して衣類で調整する時代になってきた。図-1 に私どもの身体を調整するために過去・現在・将来にどのような手段が用いられたか、また、用いられるかにつきスケッチした。

S<sub>1</sub> シェルターとして衣類, S<sub>2</sub> シェルターとして間仕切壁, S<sub>3</sub> に外壁, S<sub>4</sub> に天蓋という遮断装置をつくり, その最内部は人体に快適な状態をエネルギー調整によりつくり出す。現在の時点で衣類の持つ役割が増しているのは、先述した冷暖房のしすぎや冷暖房のしてある所としてない所との差が、大きくなる所からくる必然性である。それがまた、1人当りのエネルギー消費量を増大させている原因でもある。

自動車にしても、大型車で無公害車をつくる昨今の技術は特に住環境の機構調整に要求されるエネルギー多消費に似ている。無騒音化、無振動化のための乗り心地や大気汚染を少なくするためのエンジン等も、すべてがエネルギー多消費によって実現していること。豊かさとか人間の欲求を満たそうとするためには、エネルギーを沢山使うことで押し測られた時代が続いている。

図-2 に各国の人口1人当りエネルギー消費量を示す。1969年の統計によれば、アメリカ合州国では国民1人当り1年間に10.8t(石炭換算エネルギー消費)を、中国では0.5tであるから、合衆国の1人分は中国の21人分を消費していることになる。日本では2.8tで中国の約6倍、合州国の1/4。世界平均で1.8t。平均以上消費している国々は約10億人で世界の1/3以下であり、世界の各国が合州国なみに欲求を満足させようとするれば、現在のエネルギー消費は6倍になる。一方、西歴2000年には合州国の予想エネルギー消費は現在の4倍と推定される。そのころには南北格差問題も解決され、世界の人びとが合州国なみに豊かに生活しようとするれば、現在の世界エネルギー消費の24倍にもなる。

1969年の世界エネルギー消費量は64億t(日本2.9億t)と推定されるから、2000年には1535億tも毎年消費される。これだけの

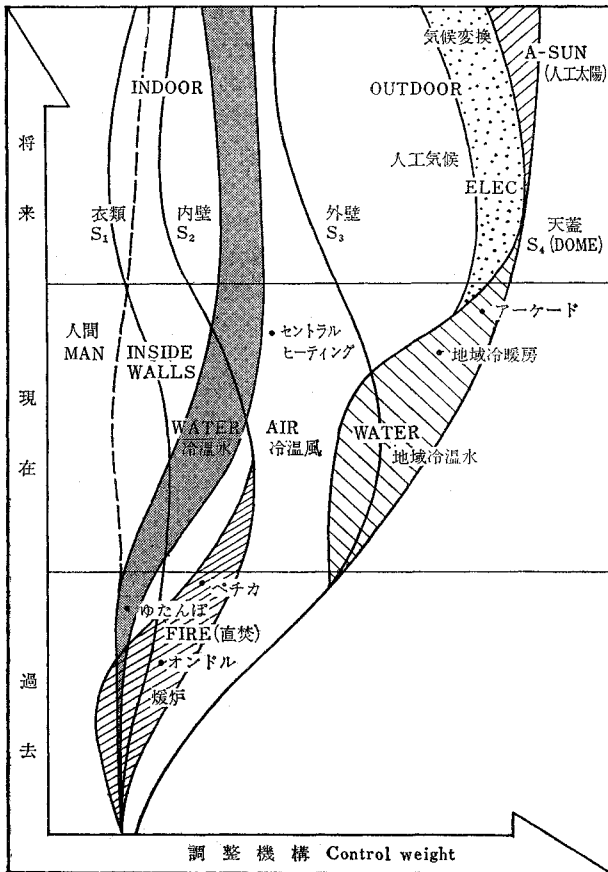
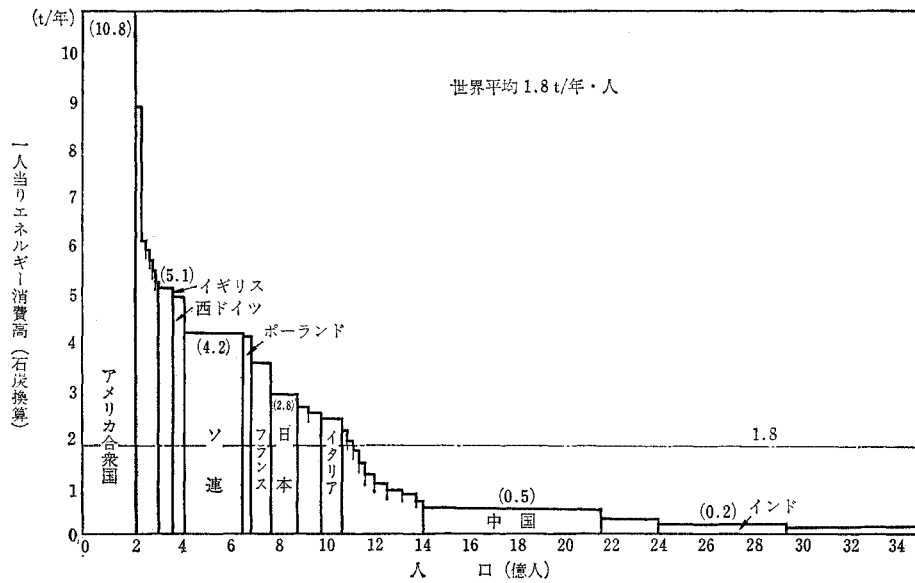


図-1 人間とエネルギー消費

\* 工博 早稲田大学教授 理工学部建築学科



(世界各国がアメリカ合衆国なみになれば6倍、日本なみになると1.6倍となる)  
 図-2 1969年、各国人口と1人当りエネルギー消費高の相関

資源は、石油や石炭、天然ガスでは補えないから、原子力や核融合が期待される。新しいエネルギーの開発や資源獲得競争は、ますますはげしくなる反面で、大気や水や土壌の破壊が心配されはじめた。仮にエネルギー源が得られても、われわれの住む環境が破壊されては、それこそ元も子もないということで、世界環境会議が開かれた。しかし、この会議は先進諸国の陰謀であるとして、南北問題が起きた。これも 図-2 から明らかなように、先進諸国が現在の世界平均のエネルギー消費量まで減らせば、環境破壊はこれ以上、進みはしないとされるもので

ある。

日本を例にとれば、鉱工業用エネルギー消費は全体の50% であって、民生用は20% と推定されるところから、エネルギー多消費型産業を改め、その分を民生用に利用し、その比率を逆転すべきものであると議論されている。事実、冷暖房用を主体とする民生用エネルギー消費の伸びが高く、東京都に例をとれば、セントラルヒーティングやクーリングが家庭にまで完全に普及すると現在の10倍以上の消費になると推定される。世界の格差と同様、日本の中でも同程度の国民1人当りエネルギー

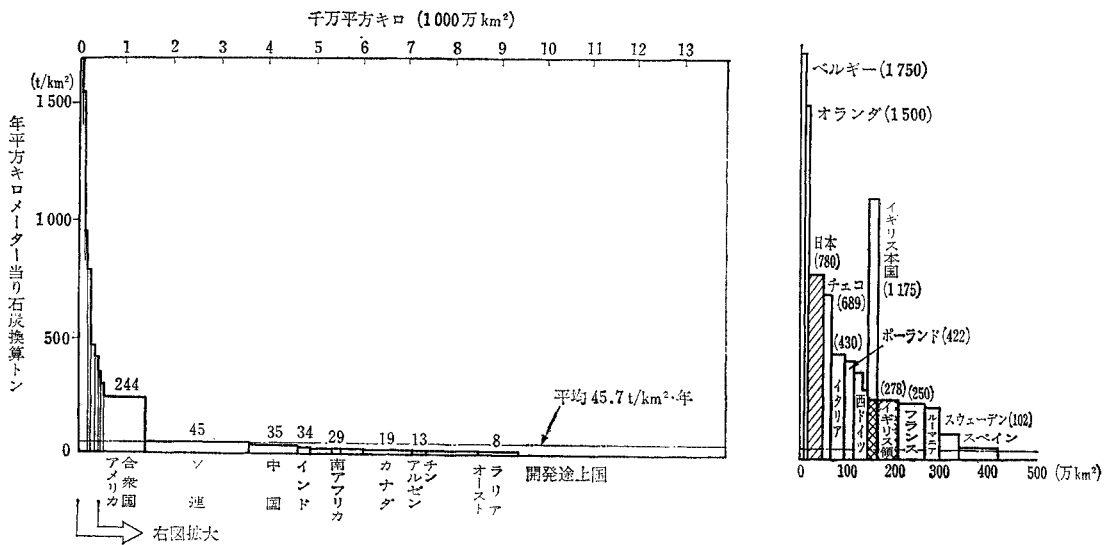


図-3 国土の環境容量とエネルギー消費密度

消費量に格差がみられている。

資源利用格差問題に次いで、環境権と環境容量の国土や国民当りの問題が出る。1969年には地球の陸地1億4000万km<sup>2</sup>の上で64億tの石炭換算エネルギー消費が行われたから、陸地1km<sup>2</sup>当り45.7tの消費量と計算される。世界最大のベルギー1750t/年km<sup>2</sup>に対して日本では780t/年km<sup>2</sup>、合州国では244t/年km<sup>2</sup>と35倍、17倍、5倍の消費密度を示す。大シベリアを持つソ連が45t/年km<sup>2</sup>と世界平均になる。国家と国民の格差こそ人間性とエネルギー消費問題の第一である。

## 2. 都市のエネルギー消費

都市はエネルギーを消費しすぎるから対策をつくれというのは全く適当な発言とは思えない。私には、都市こそ人間がエネルギーを節約するために考え出した知恵であり、産物にほかならないと思える。1人当りに換算すれば、過密の都市ほどエネルギー消費が少なくなるように計算される。便利であるのは損失が少くないからであったが、最近の都市は少しく様子が違ってきて、この理論が通らなくなってきた。それは、あまりに大きくなりすぎたことによって、交通や物流に多大なエネルギー消費が要求されたこと、次に自然浄化を越えた密度と広がりによって、人工的に自然を導入するためにエネルギーを消費せざるを得なくなったことなどが考えられる。単に建築を例にとれば、小さなビルの場合には窓を開け簡ただけで新鮮な空気が入るし、風通しが良くなることから冷房の必要量も少なくても良いが、巨大なビルになると、同じ高さでもダクトやパイプで空気やエネルギーを運搬する必要がある。丸ビルなどが□型やコ型になっている事例が多く見られたが、最近では超高層でしかも中空などつくらぬ力づくでの大型建築が増大しているが、これらは、空間当りエネルギー消費量は、年間で計算すると2倍近い多消費型になっている。

自然のエネルギーを利用できる期間は十分にそれを使える建築形態が模索されはじめている今日、都市においても巨大さの限界、効率についての研究が進められてきた。その最大の原因は、都市環境の破壊によって償わなければならない人為的エネルギー投入が巨大化してきたことである。都市や人間の集団化にも最適点が存在するのではなからうかという問題提起。その規模は、現在では25~30万人といわれるのも、科学的根拠がとぼしい。一例として、都市が巨大化するに従って都市公園の比率が増加している。ある密度と規模を越えた都市では、上水や下水やゴミ焼却等、環境整備に要する土木的工事費が増大してゆく。

日本の諸都市、中でも関東一円と大阪周辺は世界で最

も密度が高くて、そのスプロールが激しい。100km四方にわたって住宅や業務センター、工場群がびっしりと連続して広がり、自然の河や海や山や緑はその周辺にあって、内部へ入り込むにはあまりに弱々しくみえる。その上、日本の都市は木造2階建程度のものが多く、道幅が狭く、街路樹もほとんどみられない。しかも、小住宅と50~150m<sup>2</sup>の敷地割から居住密度が恐しく高くなり冷暖房用エネルギー消費密度も計算上の比較によれば諸外国に比べて2倍近くも高い。

諸外国に見られる高層住宅団地は、一見、高密度で高エネルギー消費密度と思われがちであるが、品川や大田区、世田谷区等の低層木造住宅密集地の方が高いエネルギー消費密度を持っていることに驚かされた。

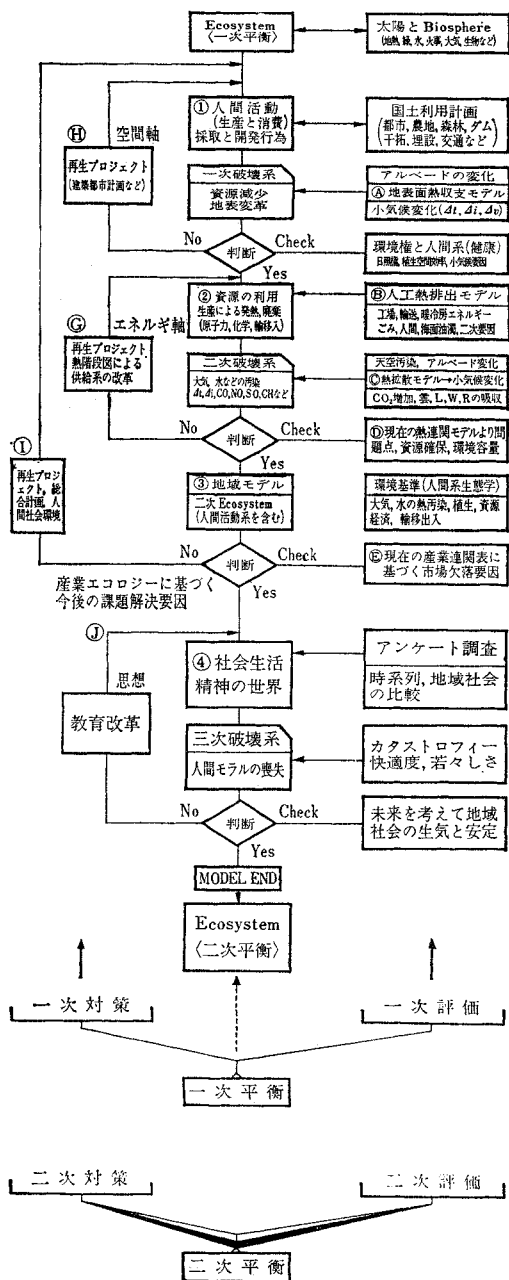
都市は各種のエネルギー消費を行う所から、廃熱の有効利用策も考えられる。廃熱発生地点と消費地点が近ければ、それだけ有効利用計画に可能性が多くなる。

東京都のゴミ焼却等による多目的熱利用計画策によると、廃熱利用パイプライン（地域暖房用蒸気パイプ網等）のネットワークが完成した場合、年間を通じて給湯等に利用される地域は都心部の1/3程度に、暖房を含めて最大要求負荷時には1/20程度までが廃熱によってまかなわれる。都市や工場コンビナートはTotal-Energy systemの導入が最も容易な所である。事実、合州国の都市では100か所近くで実施されているが、エネルギー利用のバランスから完全に運転されている例が少ない。人間生活は生成発展し有機的変化を続けているため、工学的仕掛けを用いて長期間利用できるシステムをトータルで考えることは、きわめて困難である。

## 3. 熱汚染に関連する諸問題

文化と文明が今日ほど、学問の領域で議論される時代がかつての日本であったであろうか。江戸文化から一転して明治以後の文明開化で、学問とは文明開化であった時代はつい昨年まで続き、なお余震が残っている昨今である。近代科学や近代技術の破滅が叫ばれるが、科学や技術の学問が破壊されることはないわけで、要は、その用い方や評価・判断にある。文化を学ぶことなくして文明による手段が先行したことが、アセスメントとして見直されたにすぎない。

図-4にサーマルシステムモデルを提案した。対策と評価へのアプローチとして作成したものである。初期条件としてエコシステムがバランスしていると考え、これを一次エコバランスと呼び考え方をスタートさせる。人間が活動を始めるとエコロジーバランスに変化を与えバランスが崩れる。この定量化の手段として、一次破壊系要因を太陽から受けるリアルタイムのエネルギーバラン



図一四 サーマルシステムモデル対策と評価へのアプローチ

スを崩すことと定義する。二次破壊系要因を過去に貯えられていたエネルギーを人間が生産活動の手段として消費することと定義する。最後に人間自身が精神的破壊をもたらして突然に予測できない破壊行為を起す。カタストロフィー理論にもあるように、教育、考え方、戦争、価値判断を含めて、エネルギー消費の時空間差で分別できにくいものを、この破壊系要因と考え定義する。

以上によって、第一次破壊系要因として、砂漠を緑に

したり、森林を都市にしたり、干拓や埋立て、道路の建設や植生の破壊等々によって、太陽から地表が受けとるエネルギー収支が異なる。この即時的にはエネルギー収支のバランスが崩れることのみによって、人類が生存できなくなるほどの大土木工事をを行うことがあれば、そうならないような対策をつくられなければならない。図の下に天びんの絵があり、一次平衡から二次平衡に移行する過程でバランスが崩れる。ある生産行為に対して評価し判断する量が大きくなると、それに適した量の対策をつくる。こうしたバランスは、二次破壊系の場合にも、それにふさわしい評価と対策が要求される。すなわち、中近東から石油を持ってきて日本で消費するとすれば、過去に太陽から得たエネルギーをアラブで貯えていて、それを場所を違えた東京でしかも集中的に放射するとすれば自然のバランスが崩れ、ヒートアイランド現象を始めとして各種の公害が発生する。これを公害と認めるかどうかの評価・判断とともに公害にならないための対策を考える必要があるわけで、この問題は二次破壊系要因、その評価・対策の問題として処理する。具体的には、東京の都心部では自動車のみによる熱汚染は1°C以上の空気温の上昇、道路の照り返し日射やタイヤの発熱で自動車道に面したビルでは冷房負荷が10~20%高くなるとか、地下鉄の構内は、人間、電車、照明、送風機、地下水位の低下等の要因から毎年0.6°C確実に上昇し、開通後10年間を経過した地下鉄では6°Cも上昇、15年では10°C近くも上昇していることが報告されている。これは明らかに第二次破壊系の典型であって、夏の外気温が32°Cのときには40°Cを越す暑い構内や地下鉄内部になるわけで、対策なくして存在し得ない現況である。地下鉄の冷房がハイピッチで進められているが、冷房のためにエネルギーを必要とするわけで、都市は結局は熱くなる。とすれば、さらに大きく都市的な冷房装置も要求されてくる。こうなると、時空間軸で分割し、評価と対策をつくらなければならない。

図一五に時空間の評価判断のための原単位と有効限界値を示し、それぞれのスケールで最適値平衡状態の検討を行えるようなチェック表を作成した。

われわれのスケールでは、室空間ではcm/minを評価メッシュとして、10m/1年を対策として考えられる限界範囲とする。③スケール、大都市圏レベルでは500m/hを評価原単位として100km/100年を対策モデルとする。④スケール等々、A~Dの7段階に分割してみた。

人間の格差問題は時空間や原単位によっても対策が大きく変わり、議論の場を失うことすら考えられるので、以上の提案を試みた次第であり、以下このスケールに従って、省エネルギーや評価・対策の具体的問題に取り組

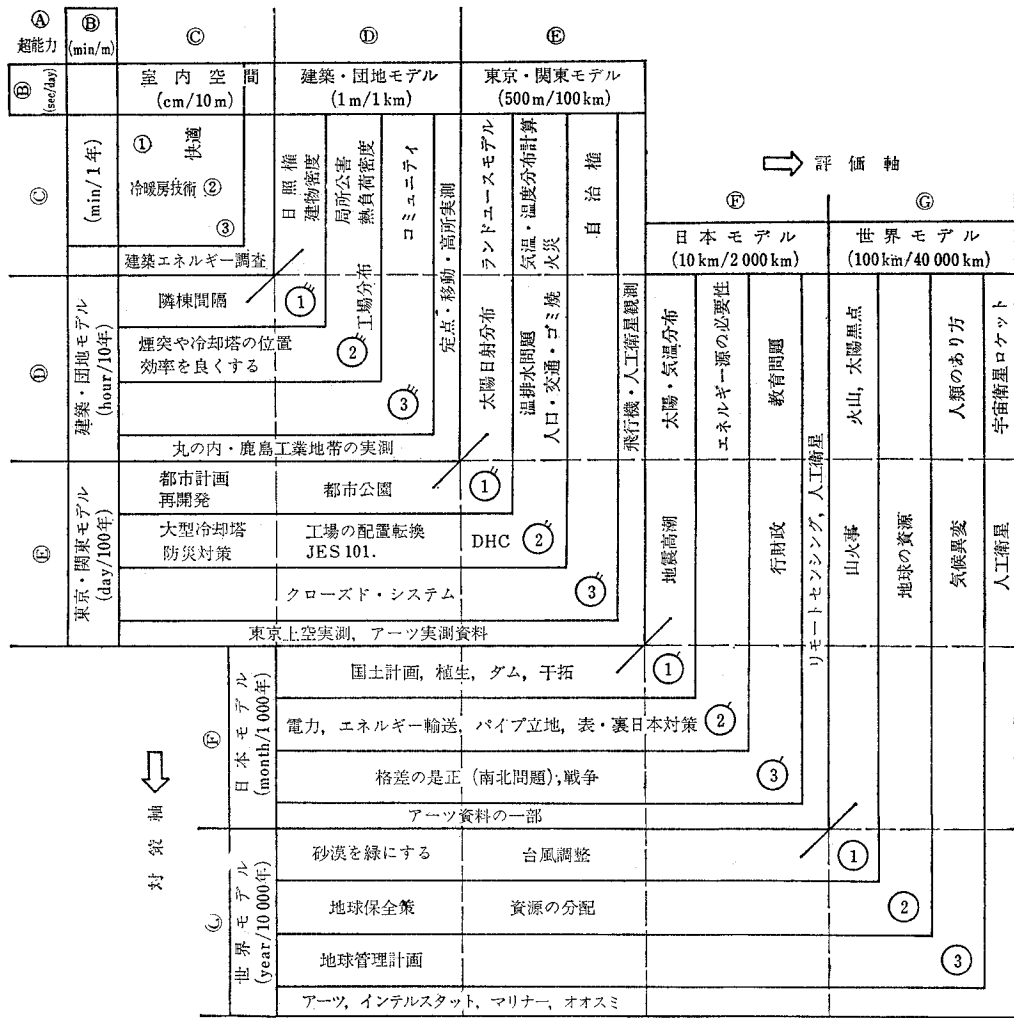


図-5 時空間軸に基づく二次平衡への対策と評価

みたい。

#### 4. 省エネルギー対策と評価

住居や建築レベルでは、個人や企業の活動や生産に対する評価、ならびにその対策が良く理解されるところであるが、都市レベル以上のスケールや長期間の問題に対しては、環境評価がびったりしない現状である。

例えば、東京都には太陽日射によって受ける熱量は1日平均で約  $48 \times 10^{11}$  kcal、人体の発熱、電力やガス、ゴミ焼却熱、自動車や飛行機の運動エネルギーなども終局には熱エネルギーになるとして人為的活動に基づく合計は、 $5.6 \times 10^{11}$  kcal/day 太陽エネルギーの10%に相当する。このような熱収支計算は厳密さを欠いているが、

現在でも気象観測できる破壊量が表われてきた。Heat-Islandの研究が理論的にも実験的にも進められている現況から、エネルギー消費と、それに伴って起る破壊量の定量化資料を用いた評価と対策がつくられる段階も近い。

エネルギーの終末として、熱を単位として、温度ポテンシャルとして絶対温度 °K を、熱量として kcal を選ぶのは便宜的であろう。

評価メッシュとして、図-5より都市レベルで500mメッシュでday単位の測定、ならびに100kmまでの範囲で100年間の利用限界対策プロジェクトを考えてみよう。

第一次破壊系要因として500mメッシュのLand-Use図を作成し、その太陽熱収支図を作成する。新しい都市

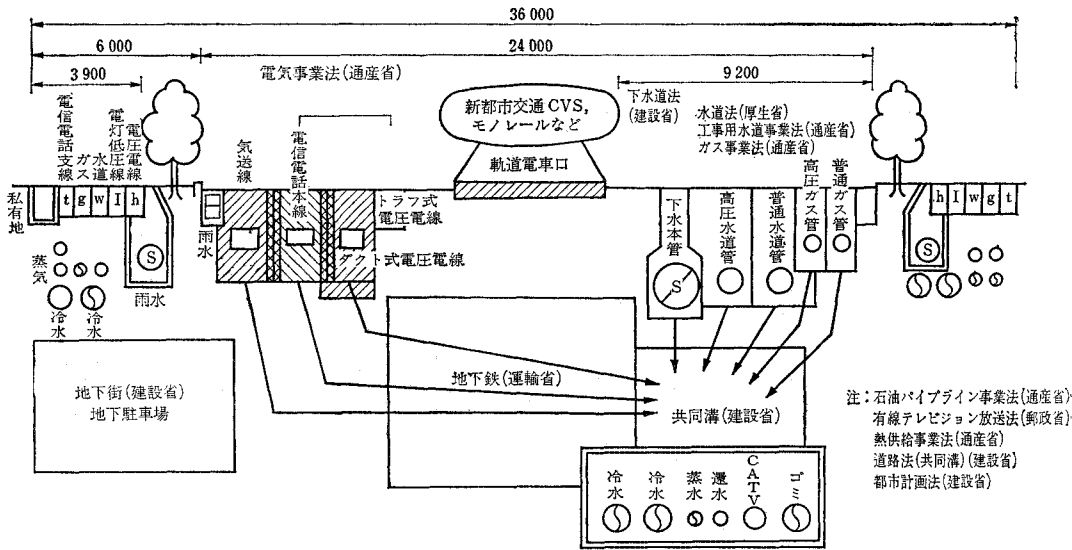


図-6 道路地下利用権のスケッチ

計画や大土木計画は 500 m メッシュに表われる量で変化させるとすれば、これによっても気候がいかに変化するかを計算する。埋立ての場合には海陸風の変化、風時間の変化、ヒートアイランドの増大、これらの変化を止めさせようとするれば都市公園や都市計画の変更が求められる。第二次破壊系要因として、冷房の普及やゴミ焼却、火力発電所の増設で温排水や熱気団の出現光化学スモッグ等が公害を発生させる。その防止対策として、大型冷却塔の建設や河川水の利用方策、海水の利用策が計画される。しかし、これらは 100 km の範囲を越えて、日本モデルで別な破壊要因をひき起こすことになるかもしれないが、⑫ スケールでの最適解を ⑩、⑪ スケールでの検討グループに申し送って OK の場合にその対策が進行されることになる。

図-6 に都市中心部における道路下埋設配管や地下利用占有権をスケッチしたものである。これによっても 36 m 幅の巨大な、道路エネルギーや情報、水の運搬などとして完全に占拠されていて、新しい都市環境をつくるために要求されてきた地域冷暖房用の配管スペース、CATU 等やゴミの中央真空配管等が、道路の立体利用させる共同溝方式の普及なくして不可能になってきた。

巨大化し過密化した都市は、ますます複雑多岐なシステムを要求し、これらが合わさって累加され、トータル化される時、現状の考え方では結局はエネルギー多消費型都市が増加しそうである。

第三次破壊要因の検討を必要に感じたことも、この間の事情によるところが大きい。

土木工学ハンドブック編集委員会編  
〈49年10月出版予定〉

## 土木工学ハンドブック

B 5 判・上中下 3 分冊

3000 ページ・特上製

全巻 36 000 円 (分冊価格未定)

発行・技報堂

土木学会創立 60 周年記念出版

1. 総論 2. 応用数学 3. 材料力学 4. 構造力学
  5. 土質力学 6. 岩盤力学 7. 耐震工学 8. 水理学・水文学 9. 地質・気象 10. 土木計画学 11. 構造設計法 12. 土木製図 13. 測量 14. 土木計測
  15. 電子計算機 16. 土木材料 17. コンクリート 18. 鉄筋コンクリート構造 19. 鋼構造 20. 基礎構造・土構造
  21. 橋梁 22. トンネル 23. ダム 24. 各種構造物 25. 契約・積算 26. 土木工事管理 27. 施工技術 28. 地域計画 29. 都市計画 30. 交通 31. 道路
  32. 鉄道 33. パイプライン 34. 空港 35. 河川 36. 海岸 37. 港湾 38. 海岸工学 39. 発電 40. 衛生工学 41. 砂防 42. 農業土木 43. 建築・造園
- 付録 (太字は前回に比べ再編成もしくは新設された編)