

原子力発電所の立地に関する土木工学的考察

小林 健三 郎*

まえがき

わが国においては、今後著増する電力の需要増に対応して電源の拡充が要請されているが、将来の膨大なエネルギー需要の安定供給対策をいかにするかの問題があり、一方、現在供給力の大部分を占めている火力発電所においては重油使用による公害の深刻化の問題がある。

現時点では、原子力発電の経済性は火力発電に比較して必ずしも有利とはいえないが、今後の技術進歩をおりこんで、急速に原子力発電の開発が進められようとしている。

ちなみに昭和 45 年度のわが国の電力長期計画¹⁾における原子力開発計画をみると、昭和 55 年度までに運開を予定されているものは 29500 MW に達している。

このような現状において、原子力発電所の立地を考察すると、諸外国に比較しても、また従来行ってきた発電所の立地に比較しても、立地上解決すべき問題点がきわめて多い。

これらを克服して立地を進めるとともに、さらに安全施設の技術向上によって、都市接近を可能ならしめるなど、立地に関連する広範な諸問題について解明を加え、必要な対策をたてるのが急務である。

本論文は、わが国商業用原子力発電所の立地論に限定し、その適地選定にあたり現行の立地基準に基づく諸制約を肯定のうえ、自然条件・社会的条件を考慮して、土木工学的立場から立地に関する一般的考察を論ずるものである。

1. 内外の原子力立地選定上の差異

原子力発電所の立地選定上の問題点を、わが国と諸外国との比較においてながめ、その主たる相違点を明確にすることは、わが国の原子力立地選定に関する主要問題

を浮きぼりにするうえで重要である。

内外の原子力発電所立地選定条件をみると、立地基準については各国ともほぼ同様であり、わが国はアメリカの基準²⁾に準拠しているので大きな差異はない。しかしながら、自然条件・社会条件は大きく異なっている。すなわち、わが国は外国に比し、① 人口密度が高い（わが国の平均は 220 人/km² とアメリカの約 10 倍であり、しかも海岸部市町村平均は 670 人/km² と全国平均の約 3 倍となっている）、② 地震強度が大きく、きびしい耐震設計が要求される、③ 復水器冷却水源の確保は沿岸以外困難である（ちなみに、諸外国の原子力立地は沿岸 30%、内陸 70% となっている³⁾。また、わが国では湿度が高いため冷却塔方式を採用しにくい）、④ 補給水源の確保がむずかしい、⑤ 津波・波高などの海象条件が一般にきびしい、⑥ 道路が貧弱なうえ、大河川・運河も少ないので、建設用資材や使用済燃料の運搬に内陸交通機関を利用することはきわめて困難である、⑦ 沿岸漁場への依存度が高いため漁業の補償問題が多い、⑧ 原子力発電所の運転実績が少ないため、安全性に関する社会的認識度が浅い、などの点があげられる。

これらについては詳述しないが、いずれも諸外国に比し、わが国の原子力立地選定上の不利点となっており、立地問題解決のために取り組まなければならない大きな課題である。

2. わが国の火力、原子力立地の差異

原子力立地問題を従来の火力立地と対比してその特長を明らかにしてみると、両者とも熱エネルギーを利用する点については類似しているが、燃料が火力の石炭および重油に対して原子力は核燃料を使用する点で大きく異なる。そのため、公害・安全規制ならびに燃料輸送などから、つぎのような差がみられる。

まず、公害・安全規制による差異についてみると、原子力は、放射線の被ばくにより公衆に致命的な被害をもた

* 正会員 東京電力(株)取締役 公害総合本部副本部長

らさないという観点に基づき、原子炉立地審査指針⁴⁾で放出線量に対して、非居住区域・低人口密度地域および人口中心地からの距離が定められ、その立地を厳重に規制されており、また構造物の強度もきびしい耐震設計を要求されるなど、大気汚染防止法により公害規制を受けている火力立地に比し、かなり限定された条件において立地せざるを得ないといえる。

つぎに燃料取扱い上の差異についてみると、化石燃料を利用する火力は、その燃料消費量が原子力に比し大量であるため、燃料輸送問題がきわめて重要な立地選定の要素となる。これに対し、原子力は取扱い燃料が少量であるため、燃料輸送が立地を左右することにならない点が火力立地と大きく異なる。

また、エネルギー源のほとんどを海外に依存しているわが国においては、不測の事態に備えて相当量の燃料備蓄が必要であるため、大量の燃料を要する火力では発電所敷地のほかに、かなりの貯油用地を必要とするが、原子力では立地上とくにこれを考慮する必要はない。

用地面積についてみると、原子力では非居住区域に、火力では貯油用地に大部分を使用しており、その使用目的は根本的に異なる。同一規模の発電所で比較すると、現状では原子力のほうが広い用地を必要とするが、将来的には原子炉安全防護施設の信頼度の向上や、火力の貯油用地の増加や脱硫施設用敷地の増大化などの理由で、その差はなくなる傾向にある。

冷却水量からみると、原子力は新鋭火力に比し蒸気・温度条件がともに低いため発電効率が低く、さらに排ガス熱損失も少ないため単位出力あたりの冷却水量は、およそ $54.0 \text{ m}^3/\text{sec}/1000 \text{ MW}$ となり、火力の約 1.57 倍となる。このため、取水設備の容量が大きくなること、また原子力は非常用ポンプを常備していることなどの理由から、取水設備は火力より割高となる。

以上述べたことからわかるように、火力は従来送電線経費低減のため需要地に近いこと、燃料輸送を低コストならしめるため精油所に近いことを条件とし、都市に近接して立地してきたが、近年おもに大気汚染防除の面から規制を受け、使用燃料についても低硫黄重原油、LNG などが検討され、都市周辺に定着化する努力が払われてはいるものの、大勢的には外洋に面した遠隔地に立地せざるを得ないという勢にある。

一方、原子力も安全規制の面で火力立地と異なった理由から、遠隔地のかなり限定された範囲で立地選定せざるを得ない現状である。

しかし、将来原子力については開発量の増大をふまえて、安全性に対する技術進歩や運転実績を基礎とし、電力コストの長期安定をはかるために、立地の都市近接化を可能ならしめるよう研究を進めることが肝要である。

3. 原子力発電所の立地方式に関する考察

原子力発電所を設置場所により分類すると、内陸立地と沿岸立地に大別でき、さらにその変形として人工島および地下立地が考えられる。以下、これらの方式について考察を加える。

(1) 内陸立地

内陸立地が沿岸立地に比し有利な点としては、一般に

① 人口密度が希薄（内陸は沿岸の 1/3）

② 需要地に近接した立地の可能性（送電線が短い）をあげることができるが、反面不利な点として

① 冷却水確保の困難性

② 放水とともに排出される放射性物質の濃縮現象の問題

③ 資材、燃料輸送の困難性などを指摘することができる。

なかでも内陸立地を支配する要因は、冷却水確保であろう。そこでわが国の主要河川および湖沼について、その利用可能水量と温排水の影響範囲とを求め、水資源的にみた内陸での可能発生電力を推定し、さらに個別地点について、ほかの立地条件をおりこんで開発量を求め、内陸立地の方向性を解明する。

一般に温排水放流水域の影響範囲は温水の熱収支と熱拡散の方程式を解けば求まるが⁵⁾、河川、湖沼などの閉そく水域の場合、拡散理論式が適用できないので、熱収支の冷却機構に依存するものとし、水温分布の近似解を求めた。すなわち

④ 河川の場合：

$$\Delta T = (\Delta T)_0 \cdot e^{-A \cdot x}$$

$$A = \frac{1}{C_w \cdot \rho_w \cdot H \cdot V} \left\{ 4 \sigma \cdot T_{w0}^3 \cdot (1 - k \cdot n) + \left(C_p \cdot \rho_a + \frac{\varphi \cdot L}{p} \right) \cdot f(u) + (k_1 + k_2) \right\}$$

$$L = 0.621 \rho_a \cdot l$$

ここに、 x ：河川下流方向の距離

⑤ 湖沼の場合：

$$\Delta T = (\Delta T)_0 \cdot e^{-B \cdot \int_0^r \frac{dr}{(H \cdot V)}}$$

$$B = \frac{1}{C_w \cdot \rho_w} \left\{ 4 \sigma \cdot T_{w0}^3 \cdot (1 - k \cdot n) + \left(C_p \cdot \rho_a + \frac{\varphi \cdot L}{p} \right) \cdot f(u) + (k_1 + k_2) \right\}$$

$$L = 0.621 \rho_a \cdot l$$

r ：半径方向の拡散距離

ここに、 $(\Delta T)_0$ ：放流水上昇温度、 H ：水深、 V ：流速、 C_w ：水の比熱、 ρ_w ：水の密度、 T_{w0} ：放流水域の水温、 σ ：ステファンボルツマン定数、 k ：雲の高さによる

係数, n : 雲量, C_p : 空気の恒圧比熱, ρ_a : 空気密度, p : 大気圧, $\varphi = (e_0 - e_s) / (T_w - T_a)$, e_0 : 水温に対する蒸気圧, e_s : 気温に対する飽和蒸気圧, T_w : 水温, T_a : 気温, $f(u) = K \cdot U^* / \log_e n(z_a/z_0)$, K : カルマン定数, U^* : 摩擦速度, $z_{a,0}$: 粗度の高さ, $k_{1,2}$: 空気および地面の熱伝導度, l : 蒸発潜熱を示す。

これをわが国の代表的な河川(信濃川)と湖沼(琵琶湖)に適用すると 図-1, 2 のとおりである。

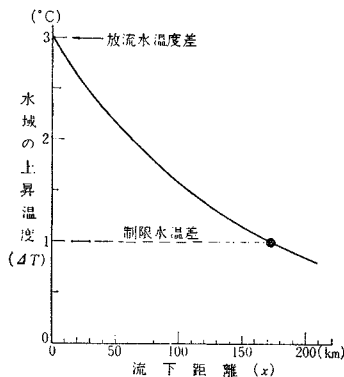
マクロ的検討のため, 主要河川 18, 湖沼・潟 19 を選び, この結果をそのまま適用すると 表-1 に示すように信濃川, 阿賀野川, 北上川, 利根川の 4 河川で 3 710 MW, 湖沼で 17 940 MW, 合計 21 650 MW の可能発生電力があることがわかった。

上記各河川への適用にあたっては, いずれの河川も上流部は湯水量も少なく, 標高, 地形からみて原子力立地に不適であり, また下流部は平坦で集落が発生し, 地質も軟弱であるなどの理由で同様に不適なことから, 中流部を対象として算定したが, 個別地点を具体的に抽出す

表-1 内陸可能発生電力(北海道を除く)

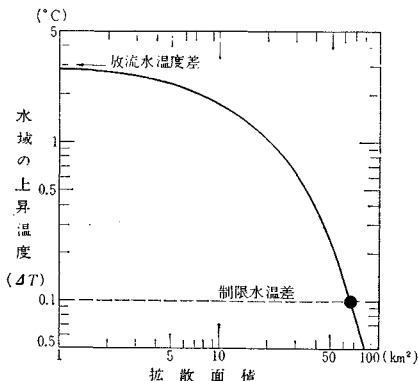
河川名	中流部湯水量 (m ³ /sec)	利用可能水量 (m ³ /sec)	可能発電力 (MW)	摘要
信濃川	120.23	51.4	950	
阿賀野川	132.64	56.6	1050	
北上川	149.01	63.7	1180	
利根川	66.37	28.4	530	
小計			3710	
湖沼名	標高 (m)	有効湛水面積 (km ²)	可能発電力 (MW)	摘要
琵琶湖	85	630.0	9800	国立公園
猪苗代湖	514	99.1	2070	国立公園
浜名湖	0	70.3	1470	
小川原湖	1	63.5	1330	
十和田湖	401	58.5	1220	国立公園
北浦	1	38.7	810	
田沢湖	250	25.7	540	
中禅寺湖	1271	11.6	240	国立公園
池田湖	66	11.0	230	国立公園
絵原湖	819	10.8	230	国立公園
小計			17940	
合計			21650	

注: ① 河川・中流部湯水量 65 m³/sec 以上。
② 湖沼・有効湛水面積 10 km² 以上。



注: 計算条件: 水温・8月の平均水温, 気象・長野測候所の記録, 使用水量・ $120 \times 3/7 = 51.4$ m³/sec, 発電力・950 MW, 平均河川幅・80 m, 平均水深・1.5 m, 流速・1.0 m/sec.

図-1 信濃川の水温分布



注: 計算条件: 水温・8月の平均水温, 気象・彦根, 京都測候所の記録, 使用水量・75 m³/sec, 拡散角度・ $2/3\pi$, 発電力・1400 MW.

図-2 琵琶湖の水温分布

るため詳細に検討すると, この部分でさえ水力発電用に河川水が利用され, また河川沿いには集落が点在し道路, 鉄道ルートにも利用されているなどの理由から, いずれの河川についても原子力発電所の適地を見いだすことはできなかった。

湖沼に関しても, 国立公園地帯からはずれていて, 電力大需要地に近く, また周辺人口密度が後述する 300 人/km² 以下で, 1ヵ所あたり少なくとも 1000 MW 級の発電所が設置でき, かつ耐震性からも適地として残るのは, わずかに琵琶湖の北部 1 地点 1000~2000 MW のみであった。しかし, この地点も, 経済評価によるとくとくに有利とはいいがたく, また安全面では, 湖沼であるため放射性物質の濃縮化の懸念が残る。

なお, わが国の主要な人工湖 17 についても検討したが, いずれも高地で湛水面積も小さく, かつ水位変動幅が大きく取水設備が割高になる, などの理由から大規模原子力立地には適さないことが判明した。

以上検討の結果, わが国では内陸に大容量原子力発電所を立地する可能性は, ほとんどないものと考えてよい。

(2) 人工島立地

近年, 海洋開発に関する調査・研究の進歩には著しいものがあるが, 筆者が数年来着目して検討を重ねてきた原子力発電所の人工島立地について述べる。

人工島立地方式の利点としては

① 買収用地が少なくすむ(用地の大半を占める非居住区域に海域を利用できる)。

② 適地選定の自由度が向上する(地盤, 地震の制約

はあるが都市近接立地が可能となる)。

③ 送電線費が節約できる(建設費は通常割高となるが、都市近接化により送電線こう長を短くできる)。

④ 漁業補償交渉が比較的容易となる(施工のための仮設備港湾を完成後漁民に解放するなど、くふうを加えることにより協力が期待できる)。

などの4項目をあげることができる。

人工島形式は鋼構造と土木構造方式⁷⁾に分類でき、鋼構造方式には浮上型と着底型、土木構造方式には築島型、鋼管矢板締切型と井筒型⁸⁾がある。これらについてはそれぞれ利害得失があり、ここでは詳述することを省略するが、築島型以外はいずれも施工性や保守管理の面で多くの問題点があり、今後の調査研究が進むまで実現性に乏しい。そこで以下築島型人工島に限定し、建設計画・護岸構造(越波対策を含む)・発電所基礎構造⁹⁾・復水器冷却水系施設・仮設備計画などについて海岸工学的配慮を取り入れた発電規模4000MW級の試設計例を紹介する。この形式は、図-3に示すように沿岸との離岸距離を非居住区域の半径600m以上にとり、水深10m以上のところにケーソン護岸締切りにより築造する。連絡道路は、① 温水の再循環防止、② 泊地のための防波、③ 送電線の引出し、などのために築造され、また海岸線の近くには仮設備用地と作業泊地を備えている。筆者は水深別にレイアウトや構造物諸元のモノグラムを作成し、一例として原子力適地が比較的乏しい東京周辺に着目して個別的に調査研究した結果、図-4のごとく立地費は7500円/kW前後となり稿を改めて詳述する¹⁰⁾沿岸立地の4500円/kW程度より約3000円/kW割高であるが、送電線こう長が比較的短いため、他の沿岸立地と比べて経済的に有利な地点を抽出することができた。

(3) 地下立地

原子力発電所を地下方式とする場合には、地上式と比

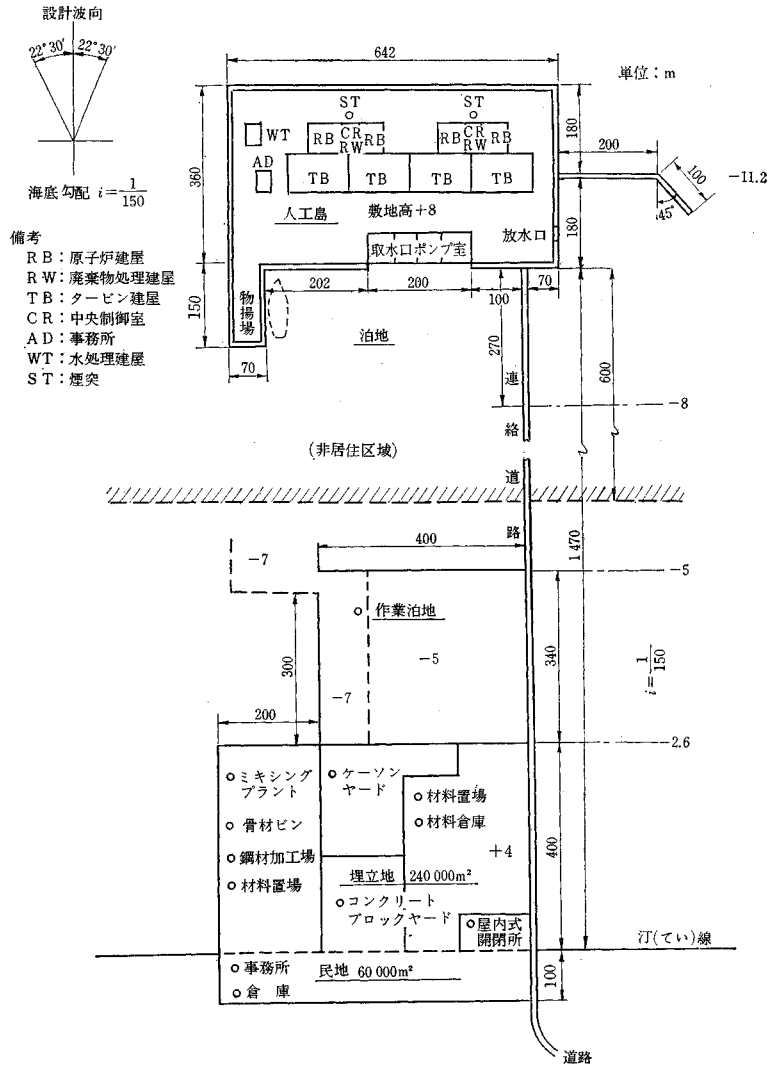
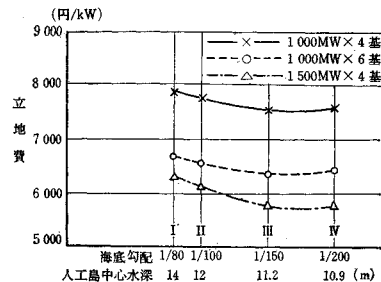


図-3 人工島標準計画図



- 注：① 立地費は、用地費・漁業補償費・その他補償費・土工費・物揚場費・復水器冷却水系施設費・補給水源費・道路費・建築費・仮設備および調査費を意味する。
 ② なお、この値は先行投資期間(4年間)の利子負担(年10%)を含む。
 ③ I, II, III, IVは個別地点を示す。

図-4 人工島立地費

較して、① 事故時の放射性物質の格納効果が期待できること、② 地形条件の制約を受けないこと、③ 外部からの飛来物に対する安全性が大きいこと、などが有利な点としてあげられている^{11)、12)}。しかし、これらはいずれもその効果を定量的に示すことが困難であるため、原子炉構造は地上式と大差ないものと考えざるを得ない。

一方、不利点としては、① 岩盤が良質で地下水の少ない地質条件が要求されること、② 空洞の掘削工期が長いこと、③ 施設の拡張や変更に対して融通性に乏しいこと、などがあげられる。

上記の諸点に基づき研究すべき項目は多いが、ここでは地下式の空洞建設費を試算し、この面から地上式との経済性の比較を行なう。

放射性物質を放出する施設のみを空洞内におさめることを前提とすれば、PWR 型では原子炉および固体廃棄物処理建屋がその対象となり、BWR 型では、これに発電機建屋が加わる。

1 000 MW 単機について必要な空洞容積を試算すると PWR 型では約 16 万 m³、BWR 型では約 23 万 m³ となる。

いま、空洞の放射性物質の格納効果を無視して、発電所内面を 3 mm 厚の鋼板でライニングすることとし地下空洞の建設費を試算すると、4 000 MW 級の発電所で PWR 型は約 152 億円、BWR 型では約 220 億円となる。これを地上式の場合の敷地造成のための掘削量に換算すれば、PWR 型では 1 400 万 m³、BWR 型では 2 000 万 m³ という一発電所としては膨大な土工量となり不経済となる。したがって、岩盤の放射性透過熱による物性変化および地下水対策などの研究が進み、また空洞の放射性物質の格納効果により原子炉施設の安全系設備が簡易化され、建設費の低下が認められるまでは、地下立地の実現性は乏しいと考えられる。

以上、わが国の原子力立地方式をマクロ的に考察した結果、沿岸および人工島立地にたよらざるを得ないという結論に達した。沿岸立地については、具体的な地点選定を適地性の評価について改めてくわしく論述することとし、今回は省略する。

4. 原子力発電所の安全性と立地条件

原子炉の動特性や核分裂生成物の危険度に対する認識が不十分な間は、炉の遠隔立地によって最終的な安全確保を求めねばならなかったが、科学技術の進歩とともに工学的安全施設の効果が、ようやく正当に評価されはじめ¹³⁾、立地問題と安全施設との関連が定量的に論ぜられるようになった。

原子炉の重大事故を想定した場合の安全対策の一環とし

て立地問題を考えるとき、立地問題という言葉の中には敷地の位置と広さ（炉心からの距離）、人口分布、気象条件の 3 つの概念が含まれる。

以下、安全対策からみた立地条件、すなわち、距離条件、社会的条件、自然条件の果たす役割について考察する。

(1) 原子炉事故対策における距離条件の役割

a) 距離条件の考え方とその効果

一般に、最も効果的かつ経済的な安全対策とは、各種の単位対策についての投資効果が、それぞれバランスのとれたものでなければならない。立地問題も安全対策の一環として考えたとき、その例外ではない。

高橋¹⁴⁾の研究によれば、地表放出の場合、距離条件で 1 桁の効果増を期待するには距離で数倍、面積で 40～50 倍の広さを必要とするのに対し、他の工学的手段は比例的効果を発揮できるとしている。このように、距離条件は必ずしも十分な数値的效果を期待できないので、安全対策の主役は、本質的に炉の安全設計および工学的安全施設に依存すべきであり、距離条件は一刻も早くその面での役割を免ぜられなければならないといえる。

b) 立地選定のための当面の考え方

本来、立地基準は原子炉工学の進歩に伴い変更されるものであろうが、ここでは現行の立地基準⁴⁾がそのまま適用されるものとして、適地選定にあたっては実用上以下のように取り扱うことを提案したい。

非居住区域は諸条件によって地点ごとに異なるものであるが、内外の資料をそれぞれの立地基準^{15)、16)}に照らして調べた結果、マクロ的には、半径 600 m を一律に採用してよいと考えられる。

低人口地帯は、本来距離によって表わされるものであるが、① わが国の北海道を除く海岸線沿いの府県別および市町村別の人口密度を調べ、これを USAEC が審査のめやすとしている人口密度方式¹⁷⁾に適用した結果、175 人/km² となったこと、② わが国は内陸人口密度が低く、敷地から半径を大きく取るにしたがって人口密度が急激に低下すること、③ 内外の発電所についてはとくにミルストーン、インディアンポイントの事例¹⁸⁾ (270～290 人/km²) ならびに、海岸沿いの府県平均人口密度が 337 人/km² であること、などを考慮して、適地選定にあたっては 300 人/km² をめやすとすることとした。

なお、国民遺伝線量については、過去の事例ならびに東京からの距離 45 km に発電所 (1 000 MW) を設置した場合を想定してもおよそ 35 万人 rem となるなど、いずれも基準値 200 万人 rem よりもはるかに小さいので現状では適地制約条件とはなり得ない。

(2) 社会的条件

a) 安全性に関する社会的認識

安全性に関する認識が得られなければ、技術的・経済的に、いかにその地点がすぐれていても用地取得、漁業補償を解決することは不可能である。この問題の抜本的解決策は、多くの原子力発電所が運転され、その安全性が証明されることにつぎるが、現時点では次の事項についてのPRが重要である。

- ① 自然放射能との対比における安全性のPR。
- ② ICRP, NCRP の勧告がそのつど低下していることへのPR。
- ③ 安全対策の主役は安全防護施設の信頼度の向上にあり、距離条件はこれを補完するものであるとのPR。
- ④ 放射線管理体制ならびに事故時の対応策の整備に努力が払われていることのPR。

b) 発電所周辺地域への都市計画的配慮

上記とも関連するが、わが国の実状をみると、国や地方公共団体の対策が遅延している傾向がある。ちなみに、東海村の実例を調べても、原子力センター設立時の昭和30年の329人/km²から昭和44年には470人/km²に増加している。したがって、原子力地点が決定されると同時に、国および地方公共団体において風向などの気象を考慮した拠点式都市計画を進め、退避計画からみた都市相互間の道路を強化整備するなど、都市計画法を改正して必要な措置を講ずべきであろう。

(3) 自然条件

a) 復水器冷却水

発電所のユニット増と集中開発に伴い冷却水量が大量になり、立地を左右する因子となる場合が多い。おもな問題点は、① 温排水、② 取・放水口の流速、③ 低レベル放射性物質の放出による水域汚染、などである。

このうち温水対策については、バイパス水路により調整する方式³⁾、深層取水方式¹⁹⁾、漁業に与える影響の少ない地点への放流などが考えられ、他の2点については工学的に十分対応することはできるが、いずれにしても最終的には漁業補償によって解決することとなる。なお未解明の点、すなわち生物に与える水温、流速の影響および放射性物質の生物体内での濃縮問題などについては、今後の研究にまつ以外にない。

b) 防災工学的諸問題

立地選定上とくに配慮を要する防災工学的要因として、① 地盤、② 地震、③ 気象、④ 海象、などがあげられる。現在のところ、地盤条件については具体的な基準は確立されていないが、当面は現行の設計指針²⁰⁾によればよい。② についてはきびしい耐震設計が要求されて

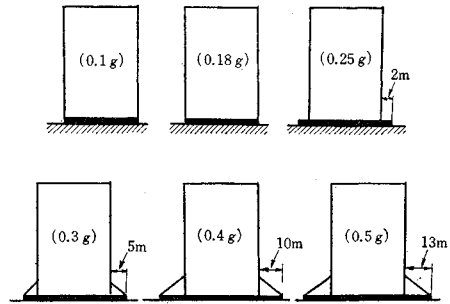
表-2 各地点の基盤加速度

発電所名	美浜	敦賀	福島	サンオノフレ	ボデガベイ	マリブ
基盤加速度 (g)	0.30	0.25	0.18	0.25	0.33	0.30

表-3 原子炉建屋工事費

基盤加速度 (g)	0.1	0.18	0.25	0.30	0.40	0.50
鉄筋コンクリート容積比*	1	1	1.38	1.58	1.99	2.35
工事費の比	1	1	1.27	1.41	1.70	1.97

注：*印は、建屋の側壁および基礎の鉄筋コンクリートを示す。



注：() 内の数値は基盤加速度を示す。

図-5 原子炉建屋補強概念図

おり、施設をその重要度に応じて分類し、建物・構築物・機器および配管系のうち、とくに重要なものについては、基盤に作用する最大加速度を用いた動的解析によって設計しなければならない。しかし、機器ならびに配管系の耐震設計には未解の点もあるので、内外の原子力発電所に適用された実績値(表-2)を勘案し、基盤の最大加速度が0.35g以内の地点を対象としたい。なお、BWR型について原子炉建屋の概念設計を図-5のようにし、基盤の最大加速度と建屋工事費との関係を表-3に示す。

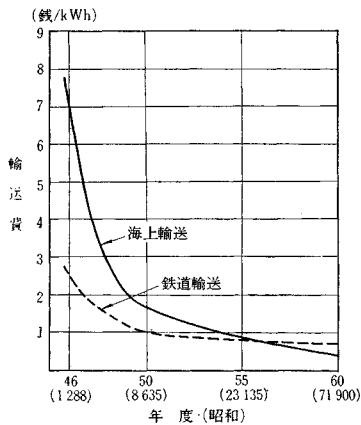
また、③ については、拡散される放射能の濃度と関係があり、④ については津波多発地域は原子力立地に適さないが、そのほかの海象条件は、いずれも工学的に解決することができる。

5. 核燃料サイクルと立地との関連

原子力発電における燃料プロセスは、核燃料の入手・加工・燃焼・再処理・リサイクルなどからなる核燃料サイクルと呼ばれる一連の循環過程を構成している。わが国は核燃料資源に乏しく、また濃縮工場もないので、ウランの精鉱から濃縮までを国外で行ない、UO₂粉末への転換以降を国内で行なうとした場合、立地に関連するのは、① 転換工場から成型加工工場へのUO₂粉末の輸送費、② 成型加工工場から発電所への燃料要素の運搬費、③ 発電所から再処理工場までの使用済燃料の運搬費、などである。

国外分も含めて発電所までの燃料費を試算すると70

銭/kWh 程度と推定されるが、①、② が占める割合は、それぞれ発電所との距離を 400 km としても核燃料費の 0.5% にすぎない。したがって、転換工場、成型加工工場ならびに原子力発電所間の立地上の関連性は無視してよいことがわかる。③ については、再処理工場の位置を極端に偏在させるとして試算した結果、図-6 に示すように昭和 55 年以降は 1 銭/kWh 以下となり、燃料費に比較し無視しうるものと考えられる。



注：() 内の数値は原子力設備量 (MW) を示す。

図-6 使用済燃料輸送費比較

また、輸送方式は固体廃棄物の将来の処理をも考慮すれば、海上輸送のほうが鉄道輸送よりもすぐれている。

以上、発電所の立地を核燃料サイクル中に含まれる他の工場立地との関連から検討を加えた結果、これらはとくに経済性に大きく影響を与える因子とはならないことが解明された。

6. む す び

以上、わが国における商業用原子力発電所の立地に関し、土木工学的立場から一般的考察を加えた。

すなわち、まず諸外国の原子力立地との主たる相違点、ならびに従来の火力立地と比較した場合の相違点を分析し、今後わが国の原子力立地にあたって取り組まねばならない課題を明らかにするとともに、その解決策と今後の研究指針とを明らかにした。主たる論点は次のとおりである。

(1) 内陸や地下立地方式は可能発生電力としてはある程度期待できるとしても、これを個別地点にあてはめてみると、きわめて少量のものしか可能性はない。よって、わが国の今後の立地方式は、冷却水のみで、沿岸立地と今回新たに提案した人工島立地方式にたよらざるをえないことを明らかにした。

(2) 原子炉の安全性と立地条件について考察し、距

離条件と立地問題との関連を検討した結果、安全性は本来安全防護施設に依存すべきもので、立地問題は一刻も早くその主役の役割を免ぜられるべきものであること、また、今後わが国の適地選定のためにめやすとして採用すべき立地条件を具体的に提案した。

(3) 原子力特有の現象である核燃料サイクルと立地との関連を考察した結果、将来の適地選定にあたっては、これをとくに考慮する必要がないことを明らかにした。

なお、本研究にあたり、京都大学石原教授ならびに高橋教授に終始ご指導をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 中央電力協議会：昭和 45 年度電力長期計画，昭和 45 年 12 月。
- 2) Atomic Energy Commission (10 CFR Part 100)：Reactor Site Criteria, April 5, 1962.
- 3) 日本原子力産業会議・原子力発電所立地調査団：欧米における原子力発電所立地の現状—調査報告—報告書，昭和 42 年 9 月。
- 4) 原子力委員会：原子炉立地審査指針およびその適用に関する判断のめやすについて，昭和 39 年 5 月 27 日。
- 5) 原子力委員会：原子炉安全基準専門部会報告書，原子炉安全解析のための気象手引，昭和 40 年 11 月 2 日。
- 6) 和田 明・片野尚明：入江内における冷却水取放水の研究 (2)，(3)，土木学会第 13 回，第 14 回海岸工学講演会講演集，1967，1968。
- 7) 東京電力開発研究所：オランダ計画研究報告書，東電原研資 AS 3，1969。
- 8) 森田定市：海底原子力発電所建設のための軟弱地盤上の人工島の構築と大井筒の沈下，第 10 回電研土木講演と懇談会，昭和 43 年 10 月。
- 9) 小林健三郎：海岸地帯における火力発電所の基礎工事，第 5 回発電水力講習会テキスト，1963。
- 10) 小林健三郎：土木学会誌へ投稿予定。
- 11) J. Kägi：Some Observations upon the Influence on Public Safety of Underground Containment in Nuclear Power Plant., Selective Papers, 6th International Congress & Exhibition on Electronics & Atomic Energy, Rome, 1959.
- 12) 高橋幹二：原子力地下発電所，土木学会誌第 49 巻 9 号，1964。
- 13) F. R. Farmer：Siting Criteria—A New Approach, IAEA Symposium, Apr. 1967.
- 14) 高橋幹二：原子力施設の工学的安全設備と立地問題，京都大学工学研究所彙報，第 34 輯，昭和 34 年 9 月。
- 15) G. D. Bell and F. R. Charlesworth：the Evaluation of Power Reactor Sites, IAEA Symposium, Bombay, March 1963.
- 16) F. C. Boyd：Containment and Siting Requirements in Canada, IAEA Symposium, Vienna, Apr. 1967.
- 17) USAEC：Calculation of Distance Factors for Power and Test Reactor Sites, TID-14844, Mar. 23, 1962.
- 18) 総合エネルギー調査会：立地問題ワーキンググループ中間報告，昭和 41 年 10 月。
- 19) 千秋信一：火力発電所冷却水の深層取水，第 8 回発電水力講習会テキスト，1966 年 2 月。
- 20) 電気技術基準調査委員会：原子力発電所耐震設計技術指針，日本電気協会，JEAG 4601，昭和 45 年 10 月。

(1971.2.23・受付)