



JAEA-Review  
2007-035

## 原子力緊急時の住民避難計画の策定に関する調査

Research on Evacuation Planning as Nuclear Emergency Preparedness

山本 一也

Kazuya YAMAMOTO

原子力緊急時支援・研修センター

Nuclear Emergency Assistance and Training Center

October 2007

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Review

本レポートは日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。  
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp/index.shtml>)  
より発信されています。このほか財団法人原子力弘済会資料センター\*では実費による複写頒布を行っ  
ております。

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4  
日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920

\* 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4 日本原子力研究開発機構内

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency  
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to  
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,  
Japan Atomic Energy Agency  
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan  
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920

© Japan Atomic Energy Agency, 2007

## 原子力緊急時の住民避難計画の策定に関する調査

日本原子力研究開発機構 原子力緊急時支援・研修センター  
山本 一也

(2007年 8月17日受理)

IAEA は、原子力又は放射線緊急事態に対する準備と対応に関する安全要件において、放射線による確定的影響のリスクを低減するため、予防的活動範囲（PAZ）と緊急防護措置計画範囲（UPZ）という概念を導入した。本調査は、従来から緊急時計画範囲（EPZ）を導入している我が国で PAZ を導入する場合、原子力緊急時の住民避難計画の策定において課題となる事項について、公開文献を中心に調査したものである。

IAEA の PAZ の導入においては、単に防護対策の地理的な範囲に関わる問題だけではなく、防護対策の実施に要する“時間”が問題となる点が重要であり、「原子力施設周辺の適切な範囲の住民を数時間以内に避難させることができること」が主要課題になるものと考えられる。米国の原子力緊急時における避難計画の考え方及び平常時からの住民への避難計画の周知は、いわゆる「即時避難」という事態に対しても有効であり、合わせて避難に対する平常時からの適切な準備が重要であるということが分かった。また、我が国の原子力緊急時の住民避難計画の策定に関して、避難施設が“EPZ の外”にあり、かつ、住民の居住地区に対して“1 箇所”に決められていること、住民へ具体的な避難計画の内容を“事前に周知”しておくこと、“避難に要する時間の評価”が必要であること等の課題が見出された。

本調査では、避難に要する時間評価における交通流シミュレーション技術及び一般災害における実際の避難経験についての知見に関しては、調査が十分に及ばなかった。より実効性の高い住民避難計画を策定するための方法を確認するための検討には、今後これらについてさらに調査を行う必要がある。

Research on Evacuation Planning as Nuclear Emergency Preparedness

Kazuya YAMAMOTO

Nuclear Emergency Assistance and Training Center  
Japan Atomic Energy Agency  
Hitachinaka-shi, Ibaraki-ken

(Received August 17, 2007)

The International Atomic Energy Agency (IAEA) has introduced new concepts of precautionary action zone (PAZ) and urgent protective action planning zone (UPZ) in “Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency” (GS-R-2 (2002)), in order to reduce substantially the risk of severe deterministic health effects. Open literature based research was made to reveal problems on evacuation planning and the preparedness for nuclear emergency arising from introduction of PAZ into Japan that has applied the emergency planning zone (EPZ) concept currently.

In regard to application of PAZ, it should be noted that the requirements for preparedness and response for a nuclear or radiological emergency are not only dimensional but also timely. The principal issue is implementation of evacuation of precautionary decided area within several hours. The logic of evacuation planning for a nuclear emergency and the methods of advance public education and information in the U.S. is effective for even prompt evacuation to the outside of the EPZ. As concerns evacuation planning for a nuclear emergency in Japan, several important issues to be considered were found, that is, selection of public reception centers which are outside area of the EPZ, an unique reception center assigned to each emergency response planning area, public education and information of practical details about the evacuation plan in advance, and necessity of the evacuation time estimates.

To establish a practical evacuation planning guide for nuclear emergencies, further researches on application of traffic simulation technology to evacuation time estimates and on knowledge of actual evacuation experience in natural disasters and chemical plant accidents are required.

Keywords: Nuclear Emergency Preparedness, Nuclear Emergency Response, Evacuation, Precautionary Action Zone, Evacuation Time Estimation

目 次

1. はじめに .....	1
2. IAEA 及び欧米の原子力緊急時の即時避難の導入 .....	3
3. 米国における原子力緊急時の住民避難計画の考え方 .....	11
3.1 米国 NRC の NUREG-0654 における避難計画の策定規準 .....	11
3.1.1 NUREG-0654 の避難時間評価の要点 .....	12
3.1.2 避難時間評価解析の実際 .....	16
3.2 米国における防護対策実施計画の住民への周知 .....	19
3.2.1 防護対策実施計画の住民への周知方法に関する具体例 .....	20
3.2.2 住民への周知内容とその考え方 .....	22
4. 避難時間評価の現状 .....	32
4.1 避難プロセス .....	32
4.2 避難準備段階の時間評価 .....	33
4.3 移送段階（一時集合場所から避難所まで）の時間評価 .....	35
4.3.1 移送段階の時間評価における交通流シミュレーションの利用 .....	35
4.3.2 移送段階の時間に関する国内の知見 .....	40
4.4 避難完了段階の時間評価 .....	43
5. 日本における原子力緊急時の住民避難計画の整備状況 .....	48
6. 原子力緊急時の住民避難計画の策定に関する課題 .....	51
7. まとめ .....	58
引用・参考文献 .....	59
付録 米国の緊急時活動クラス分類 .....	62

CONTENTS

1. Introduction .....	1
2. The introduction of prompt evacuation in nuclear emergency in IAEA, Europe and U.S. ....	3
3. Planning on residential evacuation in nuclear emergency in U.S. ....	11
3.1 The criteria for evacuation plan in the U.S. NRC NUREG-0654 .....	11
3.1.1 The outline of evacuation time estimation in NUREG-0654 .....	12
3.1.2 Practice of analysis of evacuation time .....	16
3.2 Propagation of the protective action plan for residents in U.S. ....	19
3.2.1 Examples of propagation measurements of the protective action plan for residents .....	20
3.2.2 Contents of the protective action plan propagation and the thought .....	22
4. Status of evacuation time estimation .....	32
4.1 The process of residential evacuation .....	32
4.2 Time estimation in preparation stage of an evacuation .....	33
4.3 Time estimation in transportation stage of an evacuation (from a gathering point to a reception center) .....	35
4.3.1 Use of traffic simulation technology for a time estimation in transportation stage .....	35
4.3.2 Knowledge in Japan about the time of transportation stage .....	40
4.4 Time estimation in confirmation stage of an evacuation .....	43
5. Status of the preparedness of evacuation plan for a nuclear emergency in Japan .....	48
6. Problems about planning on residential evacuation in an nuclear emergency in Japan .....	51
7. Summary .....	58
References .....	59
Appendix The classification of nuclear emergencies in U.S. ....	62

## 1. はじめに

IAEA は 2002 年に「原子力又は放射線緊急事態に対する準備と対応」と題する安全要件 (No. GS-R-2) <sup>1)</sup> を加盟国に対し発表し、各国の原子力緊急時対応のためのインフラ整備と必要な機能要件について規定を設けた。また、これを受け、「原子力又は放射線緊急事態に対する準備の整備」と題する緊急事態準備に関わる新しい安全指針 (No. GS-G-2.1) が、2007 年 5 月に発行された <sup>2)</sup>。

この新しい安全要件及び安全指針では、放射線による確定的影響のリスクを低減するため、施設状況及び緊急事態に応じて予防的な防護対策を講じることができるよう整備しておくべき区域 (予防的活動範囲：以下、IAEA 安全要件に従い、PAZ という。) と防護対策を迅速に講じることができるよう整備しておくべき区域 (緊急防護措置計画範囲：以下、IAEA 安全要件に従い、UPZ という。) という、原子力緊急時対応及び準備計画に係わる概念が導入されている。従来、米国や我が国で使われてきた緊急時計画範囲 (EPZ) に対して、PAZ という予防的な対応を要求している点が特徴である。

我が国の原子力安全委員会では、2007 年 5 月に改定した「原子力施設等の防災対策について」<sup>3)</sup> (以下、防災指針という。) の付属資料 13 で IAEA の PAZ について紹介している。防災指針にある「防護対策を重点的に充実すべき地域の範囲 (EPZ)」(以下、防災指針 EPZ という。) との関係においては、UPZ については設置の趣旨等がほぼ同等であることから、追加的な措置を盛り込む必要はないという見解である <sup>4)</sup>。また、PAZ に関しては、防災指針で直接 PAZ に相当する範囲を設定していないものの、防災指針 EPZ が既に段階的に防護対策の実施を考えている点から柔軟に実施可能であること、及び、各地方公共団体の実情に応じて、早い段階から防護対策を実施してゆくという方針で防災訓練が行われていることを指摘している <sup>3)</sup>。

しかし、IAEA の PAZ の概念は、単に防護対策の地理的な範囲に関わる問題だけではなく、その対策の実施に係わる“時間”を問題としている点が重要であると思われる。すなわち、同じ緊急時でも、PAZ は**即時**に防護対策の実施が必要になるような極めて発生する可能性の低い事態を想定した概念である。そのために、予想評価や環境モニタリングを含む防護対策の最適化プロセスを省略して、プラントの状態のみで判断し、防護活動を予防的な観点から**ただちに実施できるようにしておく**ものである。したがって、“即時に対応”できるところに意味があり、防災指針 EPZ において防護対策を段階的に実施するとしても、その最も急を要する第 1 段階の防護対策を短時間に完遂し得なければ、PAZ の要件を満足したことになるであろう。

原子力施設周辺の住民に対する防護対策において、最も実施が難しく、時間を要するのは避難である。したがって、PAZ の要件は、原子力施設周辺の適切な範囲の住民を即時に避難させることができるということがキーポイントと思われる。

本調査は、上記のような国際動向を踏まえ、IAEA の新安全要件及び指針における PAZ

を我が国で導入を想定した場合の原子力緊急時の住民避難に関する要点及び課題を明らかにするため、IAEA や欧米諸国の避難対策と準備に関する考え方、及び国内の住民避難計画に関わる準備状況について、公開文献に基づき調査し、その課題を検討したものである。



## 2. IAEA 及び欧米の原子力緊急時の即時避難の導入

原子力緊急時の防護対策の観点から見たとき、IAEA の新しい安全要件及び安全指針の特色のひとつが、第 1 章で述べたように、PAZ という予防的な防護活動を講じることを目的とした概念の導入である。

ただし、PAZ は、安全要件 GS-R-2 で定義されている脅威区分 I に該当する施設だけに設定されている<sup>1)</sup>。脅威区分 I に該当する施設とは、「原子力発電所のように、(きわめて発生確率の低い事象を含む)敷地内の事象が、敷地外に対して重篤な確定的健康影響を生じる可能性がある施設」であり、具体的には、安全指針 GS-G-2.1 に次のように記載されている<sup>2)</sup>。

- ①熱出力レベルが 100MW を越える原子炉(日本国内ではすべての原子力発電所と高速増殖実験炉「常陽」が該当する。)
- ②Cs-137 の総量が約 0.1EBq ( $E=10^{18}$ ) 以上含有する(熱出力 3000 MW の炉心インベントリーに相当)新しい照射済み燃料がある施設や場所
- ③敷地外の重篤な確定的健康影響を生じるのに十分な飛散性放射性物質のインベントリーを有する施設

PAZ の範囲については、安全指針 GS-G-2.1 で表 1 のように提案されている<sup>2)</sup>。GS-G-2.1 によれば、この PAZ の範囲についての考え方は、以下のとおりである。

- ①放射性物質の放出前あるいは直後に緊急の防護活動を、この範囲内で実施することによって、早期致死に至る線量を越えてしまうことを避ける。
- ②放射性物質の放出前あるいは直後に緊急の防護活動を、この範囲内で実施することによって、緊急時防護活動の一般的介入レベル(GIL)を越えることを防止する。ここで、最適化された一般的な介入レベルは、安全要件 GS-R-2 において、屋内退避については 2 日を超えない期間において回避できる被ばく線量が 10mSv、暫定的(temporary)な避難については 1 週間を超えない期間において回避できる被ばく線量が 50mSv とされている<sup>1)</sup>。ただし、GS-R-2 では、大人数あるいは輸送手段が確保できない等で避難が困難な状況では、より高い介入レベルの設定も認められており、また暫定的な避難に関して、より現実的な線量として 100mSv を採用している国がいくつかあること、ICRP は回避できる被ばく線量として 500mSv を推奨していることも同時に指摘されている。
- ③チェルノブイリ原子力発電所事故において、2～3 時間以内に死亡に至る線量がこの範囲の距離で測定された。
- ④PAZ の合理的な最大範囲は 5km と仮定される。

この理由は、

- i) 最も過酷な結果となる緊急事態を除けば、これが仮定される早期致死に至る線量の限界の距離である。

- ii) サイトにおける線量と比較すると、約 1/10 ほど線量が低減する。
- iii) この半径を越えた場合、相応な距離であるとしても緊急の防護活動が正当化されそうにない。
- iv) 放射性物質の放出前あるいは直後に“屋内退避あるいは避難が即時に実施できる”限界の範囲と考えられる。

表 1 に示したように、熱出力が 1000MW を越える原子炉施設について安全指針 GS-G-2.1 で提案されている PAZ の大きさは 3～5 km である。この PAZ に幅を持たせているのは、基になっている米国原子力規制委員会（以下、NRC という。）の影響分析用放射線学的評価システム RASCAL 3.0<sup>6)</sup> による解析の不確かさを考慮したものであるが、GS-G-2.1 ではさらに地域的な条件に応じて弾力的に設定してよいと記載している。

以上のように PAZ の地理的範囲については、安全指針 GS-G-2.1 においてよく記載されている。しかし、この PAZ の概念では、上述④の iv) 項のように、“屋内退避あるいは避難が「即時に」実施できる”ことを問題としているのであり、第 1 章で述べたように、防護対策に要する“時間”も重要なファクターとなっている。“時間”に余裕があれば PAZ の地理的範囲を大きく設定することもできるが、迅速な実施ができなければ、事故における放射線影響と PAZ の範囲をより最適化することが必要となる。したがって、PAZ に関する緊急時対応準備を考えると、この“時間”がクリティカルになるケースが少なくないであろうと思われる。

それでは、PAZ が前提にしている“即時”とは、どのくらいの時間であろうか\*。IAEA の安全要件 GS-R-2 及び安全指針 GS-G-2.1 には、それについて具体的な記載はない。ただ、安全要件 GS-R-2 に、緊急時対応準備において考慮する事象は、“きわめて発生確率の低い事象を含む”可能性のあるすべての緊急事態であると脚注に述べられているにすぎない<sup>7)</sup>。

IAEA の規準や指針は、一般的に欧米のそれをベースに作成されていることが多いが、入手可能な欧米の原子力緊急時対応に関わる文献でも、“予防的な”防護活動を講じる範囲という概念は、後述する米国原子力エネルギー協会（Nuclear Energy Institute, 以下 NEI とする。）のガイダンス（次頁参照）を除くと、今回調査では見出すことができず、“予防的に”防護活動を講じることができる時間に言及した文献はなかった。

しかし、“予防的”ではないが、放射性物質の放出前あるいは直後に避難等を“即時に”実施するという、非常に PAZ の概念に近い緊急時対応の例がいくつか存在している。しかし、その“即時”の目安となる時間の記載値は、例えば以下のように多様である。

- ① 米国： 1.5～数時間<sup>7)</sup>、あるいは 2～3 時間<sup>8)</sup>、

---

\*：本調査は住民の避難に関わるオフサイトの対応に絞っている。事業者にとっては、即時に防護対策を決定し、実施しなければならない“事態”がどのようなプラント状態を指すかがより重要であろう。これについては、IAEA は「原子力又は放射線緊急事態の計画と対応に用いる判断基準」と題する新しい安全指針のドラフト No. DS-44 第 2 版を作成している段階である（2007 年 8 月末時点）。

- ② 仏国：6時間以内<sup>9,10)</sup>,
- ③ ベルギー：4時間以内<sup>11)</sup>。

上記の数値に対する根拠は、文献上にはほとんど記載されていない。①の米国の例として、1980年にNRCが発行した「原子力発電所の支援における放射線緊急時対応計画と備えの準備と評価に関する判断基準」(NUREG-0654)<sup>7)</sup>では、格納容器の破損を伴うシビアアクシデントにおける放射性物質の放出開始と継続時間の指標として表2を示している。しかし、この1980年段階の防護対策の範囲は放射性プルームによる被ばくに関するEPZ、すなわち半径10マイル(約16km)、全域を対象としている。

NRCは、NUREG-0654の発行後、3回の補足文書を追加発行している。このうち、1996年の補足文書3(Supplement 3)<sup>8)</sup>で、緊急時活動レベル(p.51付録を参照)が「全面緊急事態\*(General Emergency)」と判断された場合における「即時避難」を導入している。この補足文書3では、1990年のNRCの確率論的安全評価(PSA)を用いた米国内の5つの代表的な原子力発電所プラントに対する評価の報告書NUREG-1150<sup>12)</sup>に基づいて、シビアアクシデントの中でも(格納容器の破損を伴うような、)ごく低い発生確率の事象について、事象発生から地表に降下した放射性物質による被ばくが非常に顕著な状況になるまでの時間は2~3時間であるとし、全方位で2マイル(約3km)、及び風下方向に45°~90°の範囲で5マイル(約8km)の範囲については、「即時避難」させるものとしている。これは、そのような事象においては、それが確かに放射性物質の放出に至るのか否か、その放出量や継続時間、及び放射性物質の放出による周辺への放射線影響はどうなるのかということについて、発電所の運転員には予測できない\*\*という前提に基づいている。つまり、発電所運転員のプラント状態の判断、通報後、放射性物質の放出の可能性や放出量、継続時間を予測し、適切な防護対策を決定、完遂することは、このような時間内ではきわめて困難であると結論したものと考えられる。そのため、プラント状態に基づき「全面緊急事態」と判断されたときは、この対象範囲の地域に対して「即時」に避難実施に移るのである。

従来避難は、実施に伴う二次災害のリスクや社会的混乱の可能性から慎重に考えるべきであるとされ、放射性物質の放出規模が大きく、長期間の継続が予測されること、かつ、十分な時間的余裕があるときに実施するべきであり、そのような状況でなければ、むしろ屋内退避を優先的な防護対策として考えられていた。しかし、NUREG-0654補足文書3は、全面緊急事態における防護対策として、避難をより重視したと考えることができる。

この背景には、1992年に環境保護庁(以下、EPAという。)が発表した「原子力緊急事態の防護活動と防護活動指針のマニュアル」(EPA 400-R-92-001)(Manual of

---

\*：“General Emergency”は「一般緊急事態」と訳される例<sup>3)</sup>がある。ここでは「全面緊急事態」と意識しておく。

\*\*：米国では発電所で発生した事故の大きさを判断し、地方政府等に対して通報するとともに、事態に応じて避難等を勧告することが事業者の責務となっている。

**Protective Action Guides and Protective Actions for Nuclear Incidents.** 以下、EPA PAG マニュアルという。)がある<sup>13)</sup>。この EPA PAG マニュアルでは、避難を「公衆の防護の第1の手段 (principal protective action)」であると位置付け、悪天候や洪水等の他の障害によるリスクが放射線被ばくのリスクを上回らない限り、避難が正当化されるというものである。また、逆に屋内退避については、ある条件の下では避難より好ましいという位置付けになっている。その条件とは、上記の悪天候や洪水等によって避難が困難な場合と要援護者（ここでは、高齢者、身体障害者、及び移動そのものが危険であるような入院患者）の場合である。また、放射線被ばくのリスクに対して避難が正当化されるのは、少なくとも予想される被ばくが 1rem (10mSv) を越えていなければならないとしている。

上記のような経緯を踏まえて、2005年にNEIは、加盟する全事業者向けのNEIガイダンスを発表し<sup>14)</sup>、同年、NRCはこのNEIガイダンスを是認する文書を正式に発行している<sup>15)</sup>。このNEIガイダンスでは、全面緊急事態に至ったときは、最低限NUREG-0654補足文書3の「即時避難」措置を、事業者として地方政府に対し推奨するとし、放射性物質の放出継続期間が短い、あるいは避難よりも大きなメリットがあるときに限り屋内退避を行うものとしている。図1にNEIガイダンスの全面緊急事態における対応プロセスを示す。NUREG-0654補足文書3にも同様な対応プロセスが示されているが、図1はそれをより実践的に具体化したものと考えることができる。

さらに、このNEIガイダンスでは、ケースや事業者の事情によっては全面緊急事態における公衆の避難に伴う障害等が発生することを考慮し、緊急時活動のクラス分類が「サイト緊急事態 (Site Area Emergency)」の段階での避難実施を計画の中で考慮してもよいとしている。サイト緊急事態は、敷地外においてはまだ防護対策を必要とするような影響が及ぶ可能性はない状況であるが、全面緊急事態へのさらなる事態悪化を見越して避難の実施を考えてもよいとするのは、正にIAEAのPAZの概念と同等である。

避難よりも屋内退避を選択すべき避難時の障害として、悪天候、及び避難に時間のかかる入院患者等の要援護者、交通上の問題（道路の不通など）が挙げられているが、同時に屋内退避に関しては、放射線防護等の効果に関する定量的な評価に基づき、使用する屋内退避施設の範囲を決めておくべきとされている。

また、放射性物質の放出開始が早く、避難を実施する余裕がない場合、放射性物質の吸入を避けるために、発災施設から非常に近い区域に限って一時的に屋内退避を指示し、放射性プルームの通過を待ってから、直ちに避難を実施するという考え方がある。これは、図1において、放射性物質の放出継続時間が短いことが予期できるときに限られているが、プラント側の応急対策に見通しが得られている状況であれば、非常に実践的な対応であると思われる。IAEAの国際緊急時対応演習では、それに近いシナリオで実施された例がある。<sup>16)</sup>

屋内退避については米国内の各関係機関から公衆に対する教宣の中で、その注意点がいくつか述べられているが、その第1は「外気の侵入を防ぐこと。」である。しかし、その

方法は窓を閉めたり換気扇を止めたりするだけでは十分ではなく、冷暖房等の空調すべてを停止し、ドアの隙間等に目張りをするなど詳細に渡り、実際にそれは長期間居られる環境ではない。IAEAの安全要件GS-R-2でも、屋内退避は2日間を限度とすると附属文書3に記載されている<sup>1)</sup>。多くの木造家屋はγ線に対する遮蔽効果が期待できないこと、住民の食糧・飲料水の備蓄は2～3日間を目安としていること（後述、第3.2項参照）もあり、被ばく量が低い、あるいは放射性物質の放出継続期間が短いことが分かっていない限り、避難させるほうがよいというのが、米国の事業者のスタンスであることをNEIガイドランスは示している。

一方、仏国では、米国で考慮しているような極端に発生確率の低い事象、すなわち格納容器の破損を伴うシビアアクシデント、は考慮に入れていないといわれている<sup>17)</sup>。しかし、即時対応フェーズ（reflex phase）という概念を1997年から検討し、各地のオフサイト緊急事態計画の変更期間として2年間の猶予を取った上で、本概念の導入を2003年に規定に盛り込んだ<sup>9,10)</sup>。この即時対応フェーズは、シビアアクシデントや拡散評価に関する新しいデータを基に、事象発生から6時間以内に敷地外の防護対策レベルを超える放射性物質の放出があるような事象が対象であり、現在では各地の原子力発電所でその体制が整えられているもようであるが、この対応フェーズにおける活動内容については、本調査の範囲では明確にすることができなかった。

ベルギーでは、やはり2003年に仏国と同様に、即時対応フェーズを設定している<sup>11)</sup>。想定をしている事象について明らかではないが、事象発生から4時間以内に放射性物質の短期間の放出があるとし、このような場合は、即座に警報を発し、屋内退避をさせ、その後の緊急通報に注意するように指導している。

即時対応フェーズにおける対応の準備範囲は、仏国では全方位2km、ベルギーでは施設によって特別に設定されているケースがあるが、通常全方位3kmと設定されている<sup>10,11)</sup>。

以上のように、PAZのような予防的な防護対策は国際社会においてもまだ一般的であるとはいえないものの、それに近い「即時避難」あるいは「即時対応フェーズ」という概念が導入されつつある。そこで考慮されている時間は、公開されている例に限られ、各国においてその考え方に違いがあるが、数時間というオーダーである。少なくとも本調査の範囲では、10時間以上の数字を記載した文献はなかった。すなわち、現段階ではPAZが前提にしている“即時”について、その時間を明確に結論することはできないが、数時間という範囲が国際的な動向であるということが出来る。また、この数時間という時間的余裕を踏まえ、IAEAは、PAZを周囲半径3～5kmとする提案をGS-G-2.1において行ったものと考えられる。

PAZはこのような限られた範囲ではあるが、人口密度など、その地域の状況によっては、その“即時”という要求に対応するため、事前に具体的な防護対策の実施計画、あるいは実施要領を作成し、あらかじめその内容を住民に教育しておかない限り、実施は困難であろう。

IAEA の GS-G-2.1 は、住民への周知方法を含め、防護対策を即時に実施するための防災計画に関する具体的な策定方法を記載していない。IAEA の緊急時対応の計画を作成するための方法論を述べた EPR-METHOD 2003<sup>18)</sup>でも、この防護対策の準備については要点を記述するのみである。したがって、PAZ を設定し、防護対策の即時実施を可能とするための計画策定に関する具体的な要領は各国が自国の実情に合わせ、開発する必要がある。

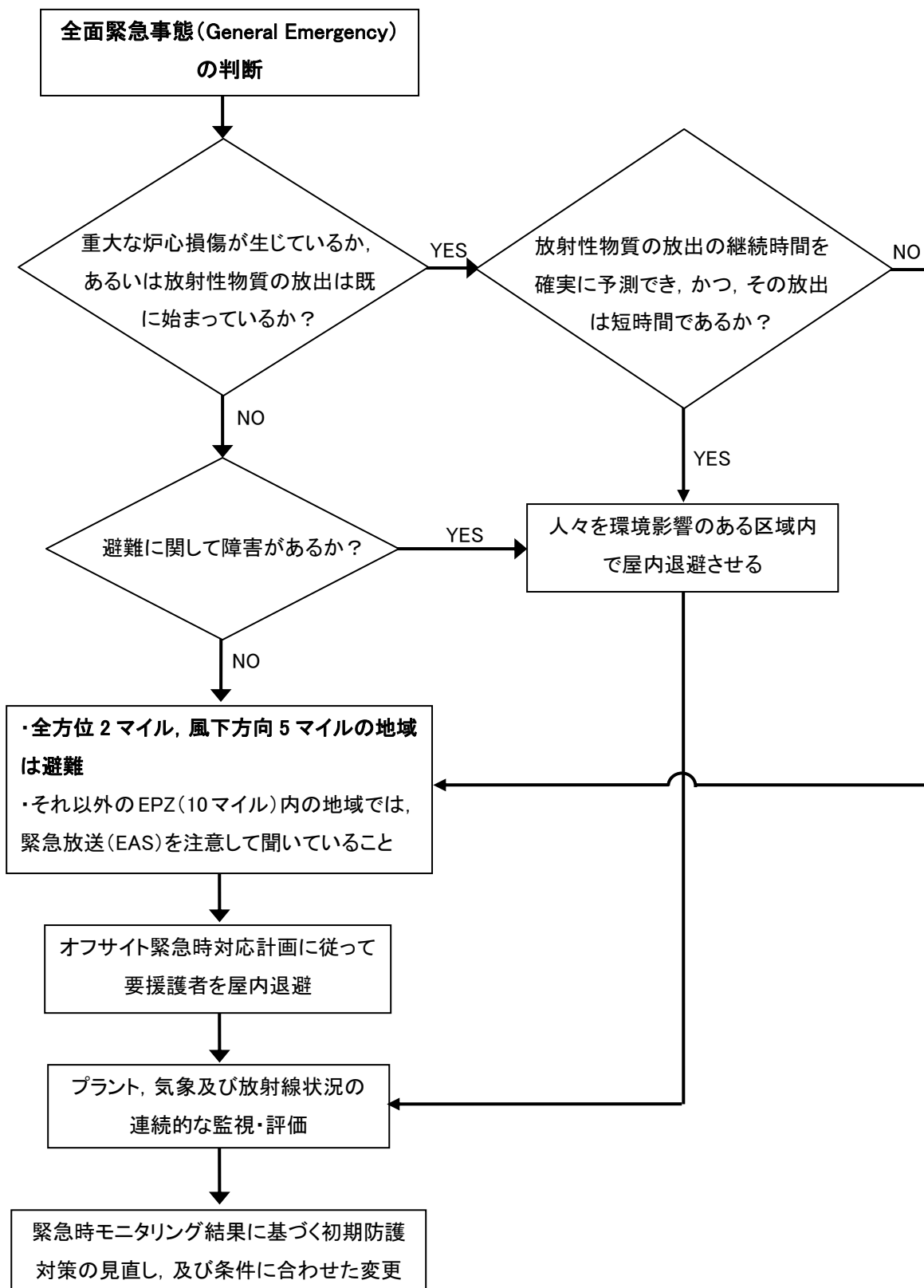


図 1 全面緊急事態時における対応プロセス [出典：NEI guidance 2005<sup>14)</sup>]

表-1 施設の規模と PAZ の大きさに関する提案 [出典 : IAEA GS-G-2.1<sup>2)</sup>]

施設の規模	PAZ の半径
熱出力 >1000MW の原子炉	3~5 km
熱出力 100~1000MW の原子炉	0.5~3 km
$A/D_2^* \geq 10^5$ の施設	3~5 km
$A/D_2^* \geq 10^4 \sim 10^5$ の施設	0.5~3 km

表-2 放射性物質の放出開始と継続時間の指標 [出典 : NUREG-0654<sup>7)</sup>]

事象発生から大気中への放出開始までの時間	30分~1日
放射性物質が継続して放出される期間	30分~数日
放出される放射性物質の主要量が放出される時間	放出開始から30分~1日
放出後、放出開始点から被ばく地点に到達するまでの時間	5マイル(約8km) ; 30分~2時間 10マイル(約16km) ; 1時間~4時間

\* :  $A/D_2$  は、分散性の危険源の危険度を示す指標で、核種毎に設定された D 値<sup>5)</sup> に対する比の総和として求められる。詳細は安全指針 GS-G-2.1<sup>2)</sup> 付属書Ⅲを参照。ここでは、そのインベントリーの 10% が大気中に放出されると仮定し、 $A/D_2$  を計算している。



### 3. 米国における原子力緊急時の住民避難計画の考え方

第2章で述べたように、PAZで要求される“即時”に対応するための具体的な方法論についてIAEAのGS-G-2.1は記載していない。この“即時”対応については米国が長年の経験を有し、また非常に多くの資料が公開されている。仏国等は、緊急事態計画にその記載があるものの、その準備や実施についての具体的な情報は公開されていない。

そこで、“即時”対応のための防護計画の作成及び住民への周知に関する具体的方策を検討するために、避難計画策定に関するNRCの規準を中心にして米国の例を以下に述べる。

#### 3.1 米国NRCのNUREG-0654における避難計画の策定規準

米国における原子力緊急時対応計画及び緊急時対応に係わる準備は、前出のNRCが発行したNUREG-0654<sup>7)</sup>が最も基本的な規準書である。本規準書の正式な資料番号は、“NUREG-0654/FEMA-REP-1, Rev. 1”で、NRCが1980年に連邦緊急事態管理庁（以下、FEMAとする。）と共同で発行したものであるため、FEMAの資料番号が併記されている。

“避難に要する時間”は防護対策を決定する上で、大きな判断要素である。特に多数の公衆を避難させる場合、放射性物質の放出前に避難が終了できるのか否か、あるいは放射性物質の放出直後に避難させなければならない場合は、安全な区域（EPZ、すなわち半径10マイル（約16km）の外側）まで避難する間の被ばく線量の推定、さらには日没や気象条件の変化など外的条件による避難完了の時間的制約などが、周辺住民の安全を担うオフサイト対策の意思決定者（米国であれば郡）にとって、避難させるか、屋内退避により一時危機を回避するかの判断の大きな岐路であろう。また、EPZ内のどの範囲を実際に避難させるかという判断においても、当該地区の“避難に要する時間”はキーファクターである。原子力緊急時の防護対策において、放射性物質の放出前に避難完了するはずが間に合わなかったという事態、あるいは避難可能であったにもかかわらず屋内退避を決定し、後の事態悪化により、放射性物質の放出下で避難を実施しなければならないような事態は絶対に避けなければならない。このような最悪の条件下で避難実施を避けるためには、あらかじめ信頼性の高い“避難に要する時間”を把握した上で防護対策の検討を行うことが不可欠である。

また、以上のことは、特に“即時”の防護対策に限らず、従来からの原子力緊急事態対応における防護対策の基本事項である。

そのためNUREG-0654は、1980年の最初の発行の時から、住民防護計画策定において“避難に要する時間”を事前評価すべき項目のひとつに取上げ、事業者に課している。「避難時間評価」（Evacuation Time Estimation；以下、ETEという。）と称される事前評価そのものは、NUREG-0654の発行に先立つ、1979年及び1980年にNRCが事業

者に対して、その実施を要求する指示を行ったのが最初である<sup>19)</sup>。この当時は、避難時間を評価する一般的な手法はないと断りながらも、化学物質（毒ガス）漏洩対策や洪水対策において過去の経験事例があることから、以下のケースについて地域の担当責任者が実施し、報告することを求めている。

	距離範囲	区域
①	2 マイル (約 3.2km)	全方位を 180° の 2 セクターに分ける。
②	5 マイル (約 8km)	全方位を 90° の 4 セクターに分ける。
③	10 マイル (約 16km)	全方位を 90° の 4 セクターに分ける。

その後、NUREG-0654 の付属書 4 において、この ETE の基本的な手法がまとめられている。その後、1992 年 3 月に発行された NUREG/CR-4831 “原子力発電プラントの避難時間算定検討の最新手法”<sup>20)</sup>によって関連情報や計算上の仮定の整理、ETE 結果の使い方等、ETE に関するガイドが示され、さらにその改訂版として 2005 年 1 月に発行された NUREG/CR-6863 “原子力発電プラントの避難時間算定検討の開発”<sup>21)</sup>によって、コンピュータの利用を前提とした新しい手法に見直されているが、この NUREG-0654 の手法の基本的な考え方やプロセスが本質的に見直されているわけではない。

そこで、本節では、まず NUREG-0654 の付属書 4 を中心にして、米国の避難計画の考え方を整理する。

### 3.1.1 NUREG-0654 の避難時間評価の要点

- (1) ETE の評価の第 1 段階は、避難者の数である。これが避難経路の交通需要のベースデータとなる。避難者は 3 つの分類を考えなければならない。そして、それらを重複してカウントしないようにすること、とコメントしている。

#### ①住民

10 マイル EPZ 内に居住する住民人口分布は、国勢調査データを下に、必要に応じて増減を調整する。ETE は事前の検討であるから、緊急時の防護対策のように最新の人口データを用いることまでは要求されていない。急激な人口の増減がない限り、計画は国勢調査を用い、実際の緊急時対応において最新の人口（住民登録）データによる確認を実施するものと考えられる。

次に、上記の住民人口分布は、自家用車を所有するグループと所有しないグループに分類する。前者は次の道路の交通量容量に係わる重要なデータであり、後者はバス等別途輸送手段を考慮するときが必要となる。

#### ②一時滞在者

NUREG-0654 の付属書 4 では、一時滞在者として、旅行者と EPZ 外から通ってくる大きな施設の従業員の 2 者を考慮している。

#### ③特別な施設居住者

特別な施設とは、病院や福祉施設等、そして学校である。これらの人々は多様で

あり、所属する施設ごとにどのような搬送手段をとるか、個別に考える必要があるとしている。また、病院の入院患者等は、必ずしも住民登録を自宅から変更しているわけではないため、施設ごとに対処し、計算に入れる必要があるということなのであると考えられる。

(2) 第2段階は、EPZをサブエリア(詳細区域)に分けることである。

防護対策の計画は、避難を含め、EPZ全域、すなわち半径10マイル(約16km)の地域、を対象とする。事故の発生時に、放射性物質の環境拡散評価や被ばく評価によって、実際に防護対策を実施する範囲(通常は、いわゆる鍵穴形状で与えられる)がどのような形になっても適用できるように、EPZ内をいくつかのサブエリアに分ける。NUREG-0654において、例として記載されているサブエリアの分割は、単純に、原子力施設を中心に、距離を、2マイル、5マイル、10マイルの3段階、方位については90度ずつ4方位を目安とするとなっているが、付属書4ではより細かく、16方位で分割した、48のサブエリアを例として示している。図2にこの付属書4の例示を示す。

実践的には、このサブエリアの境界は主要道路や川に沿って決めた方がよいとされており、特に分け方について上記の例示に従う必要はない。上記例示の趣旨は、サブエリアをなるべく放射状に近い形で設定しておくこと、次の段階でより合理的な避難ルートを設定できるということである。むしろ、付属書4が指摘する重要な点は、人口密集地域を分割してはならないこと、すなわち、ひとつのサブエリアにしておかなければならないことである。

すべてのサブエリアについて、前記(1)の3種類の避難者に対応した人口と、車両数のデータベースを作り、サブエリアとともに図示しておくこととしている(前出図2参照)。

なお、上述したNUREG-0654において使われている“サブエリア”は、事業者が郡と作成する地域の緊急時対応計画では緊急時対応計画区域(Emergency Response Planning Areas, ERPA)と称され<sup>21,22)</sup>、主要道路や川に沿って境界を設定しているので、我が国において避難エリアの設定用いられている行政区に対応している。本報告書でも、以下、NUREG-0654の“サブエリア”について“緊急時対応計画区域”ということとする\*。

(3) 第3段階は、道路の交通容量評価である。

NUREG-0654では、“交通容量”と標記しているが、下記のように、一般的な交通工学な観点からは、その記載内容はむしろ交通需要の評価方法と経路の設定に対す

---

\* : James Lee Wittは、後述する防災対策評価報告書で、NUREG-0654の“サブエリア”は緊急時環境モニタリング地点の決定に使用し、緊急時対応計画区域はオフサイトの緊急時管理が設定し、使用するものであると記載している<sup>23)</sup>

る注意点である。

NUREG-0654 では、以下のように記載されている。

①避難に伴って発生する車両数は、避難者のデータから推定する。すなわち、以下が妥当なところであろう。

- ・住民の自家用車を所有するグループ； 車両 1 台あたり 2～3 人、もしくは世帯数を基とする。
- ・一時滞在者；旅行者は 1 台あたり 3～4 人、施設の従業員は 1 台に 1.5 人以下（ほとんど 1 人）とする。
- ・特別な施設； 施設ごとに事情が異なるので、個別に計算する。

②避難ルートは、放射状を基本とする。(図 2 参照)

避難ルートは、施設を中心として、なるべく放射状に設定するものとしている。これは、避難車両の混乱を防止し、合理的に避難の移動を完了するために重要な考え方である。また、これによって、避難ルートを単純化し、住民への周知を容易にするという点も、住民が迷走することを防止する上で重要である。住民に自家用車を使って避難させる場合のキーポイントであると思われる。

また、避難ルート選定の際、交通容量の大きいハイウェイ等だけに限ってはならないとしている。これは、ハイウェイの入口付近は局所的に交通容量が小さくなっているケースがあるためであり、入口での容量を考慮することとされている。さらに、幹線道路以外の選択は、幹線道路への合流や横断によって、幹線道路本来の流れへの影響を最小限にするように注意することが指摘されている。したがって、マップは、主要な避難ルートだけを記載したものを使用すること、避難ルートに出るために使う小さな道路は示す必要はないことが記されている。

③緊急時対応計画区域 と避難ルートの対応が目で見分けるよう、ルートにナンバリング等をする。

④避難ルートにおいて、狭くなっている区間、(橋や特定の交差点のように) ボトルネックとなる区間を明記しておく。

(4) 第 4 段階は、避難時間の解析である。

NUREG-0654 では、下記のように解析上の注意点は記載しているが、具体的な道路条件と交通容量の関係、すなわち、与えられた道路幅員やカーブ、信号設定に対して通行できる車両数を算出するための方法、目安等はまったく示されていない。そのような意味で、道路交通容量そのものの評価方法については、住民が自家用車で避難する米国の ETE 評価では正に中心となるデータであるが、言及されていない。むしろ一般的な交通工学的問題であるため、NRC の基準に記載する事項ではないという判断があるのかとも考えられる。

NUREG-0654 に記載された避難時間の解析上の注意点は以下である。

①避難時間の解析には、通常条件と悪条件の 2 通りを考えなければならない。

悪条件とは、洪水、降雪、凍結、きり、及び雨であり、厳しい側に評価するとともに、複合条件を考慮する。（たとえば夏の行楽客による人口増加+洪水、あるいは冬のレジャー客による人口増加+降雪）

- ②避難時間解析で考慮する事項として、他に、昼／夜間、平日／週末、混雑期／閑散期を例示している。さらに影響の大きいものとして、避難ルートに乗るまでの所要時間であると指摘している（次項③参照）。
- ③避難時間解析は、すべての人が、“同時に”避難指示を受け、“同時に”移動を開始すると仮定し、先んじて逃げる者がいない、とするのが最も簡単で、保守的な結果となるが、これは過大評価であると NUREG-0654 は指摘している。

そのため、NUREG-0654 では、避難の流れを次の 6 つのシーケンスに分割し、各シーケンスの開始から終了までの過程に“分配関数”を定義するのがより現実的であるとしている。

- i) 避難指示を認知する
- ii) 自宅に戻る
- iii) 自家用車で家を出る  
（上記②で指摘された“避難ルートに乗るまでの所要時間”はこの i)～iii)に当たる。）
- iv) 避難先に到着する
- v) 学校の児童・生徒の避難
- vi) 自家用車が使えない人たちの避難

“分配関数”を言葉で説明すれば、各行動（シーケンス）を行う人の数は時間的に分布し、最初に行う者があり、除々に増え、ある時間後に最も多数が実行し、次第に数が減って、最後に行う者があって、それが完了するということであり、時間に対して、いわゆる S 字型の曲線となる。（後述の図 13 参照）

ただし、NUREG-0654 は、この“分配関数”は ETE を行うものが決めるものだとしており、ここでも具体的にどのようなようにしてこの関数を決定したらよいのか何も記述していない。

また、自宅から避難先までの自家用車による移動時間についても、道路の交通容量を超えた車両は、“待ち”状態となるので、解析には、いわゆる“待ち行列”解析を行うとともに、車両の待機場所を確保し、それによる遅れ時間を評価の上、地図に記載することを要求している。これも、具体的にどのような“待ち行列”解析手法が推奨されるのか、また、渋滞が予想される場合、車両の待機場所としての場所の選定条件等は、記載されていない。

なお、NUREG-0654 では、先んじて逃げる者を仮定するべきか否かについて記載はない。当時の評価技術では取扱えなかったためと思われる。第 4.3.1 項で述べるように、これは避難の所要時間に大きな影響を及ぼすものであり、現在では、自

主的避難あるいは影の避難として、評価の中で考慮するのが普通である。

- ④最後に、避難完了を確認するために要する時間を考慮すること、とされている。避難完了の確認手段は、飛行機や車両による目視確認や確認電話が例として記載されている。
- ⑤NUREG-0654は、ETEの各要素解析の結果を最終的に表3に示すような表形式(例)でまとめ、トータルの時間を得るとしている。表3は、例として、2マイル、5マイル、10マイルの各範囲が4～5の緊急時対応計画区域（表中では出典元に合わせサブエリアと表記）に分けられた場合を示したものであるが、実際の各範囲の緊急時対応計画区域は、第3.2節で紹介する事例のように、もっと多数である。

### 3.1.2 避難時間評価解析の実際

上述のように、NUREG-0654の付属書4はETEの概念的な説明にとどまっている。一方、NUREG-0654の評価基準本文では、避難時間解析(前出第3.1.1項の(4)－(3))に関しては“動的解析”で行うという条件を課している。

このETEの解析方法についてはさまざまな文献があるが、その多くは交通流シミュレーション技術に係わる文献である。そこで、第4章において、ETEを我が国で適用する視点から、最近の米国の公開文献を中心にして、ETEの現状について概要を述べる。

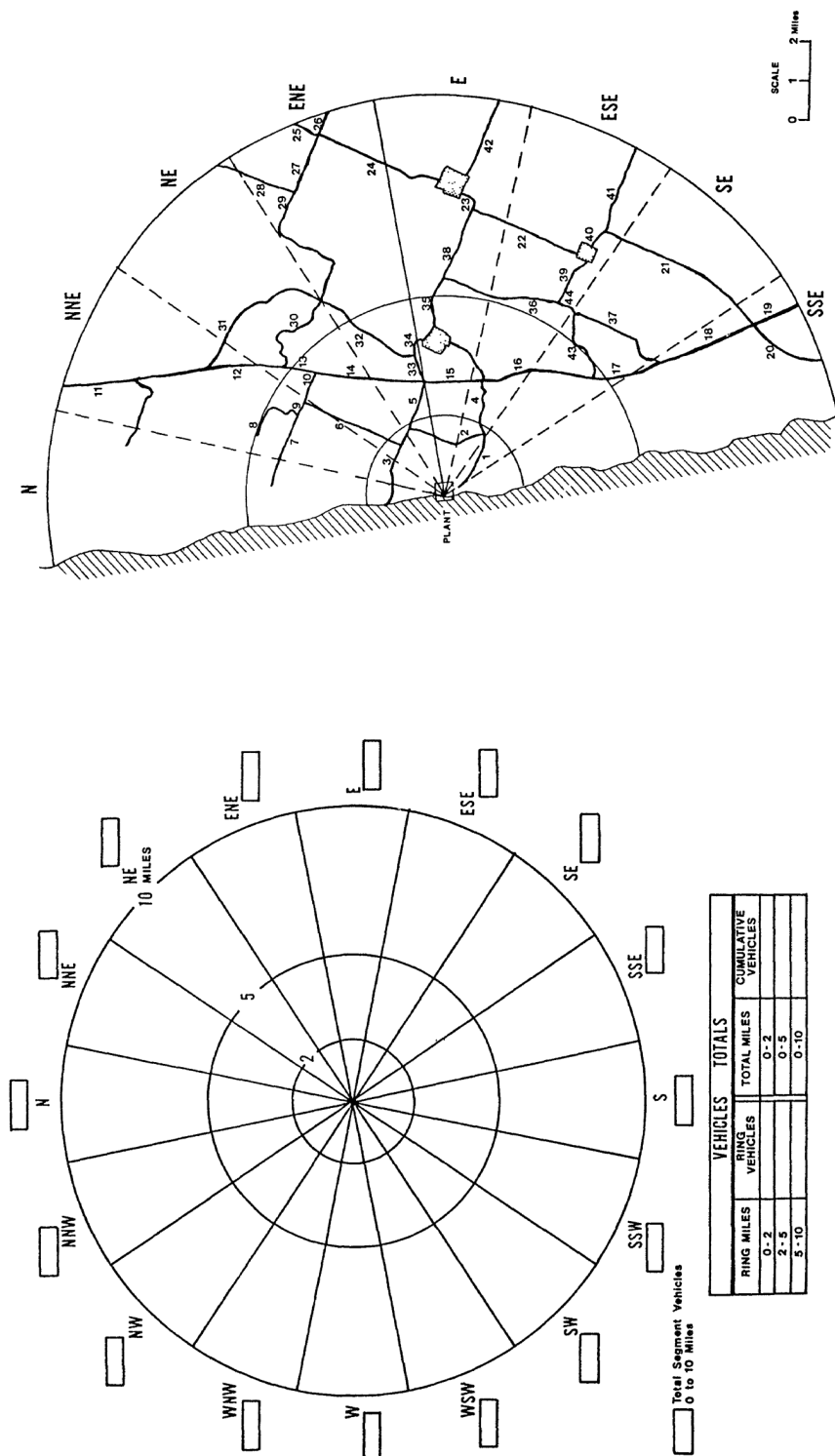


Figure 2: Example of Format for Presenting Vehicle Data By Sector

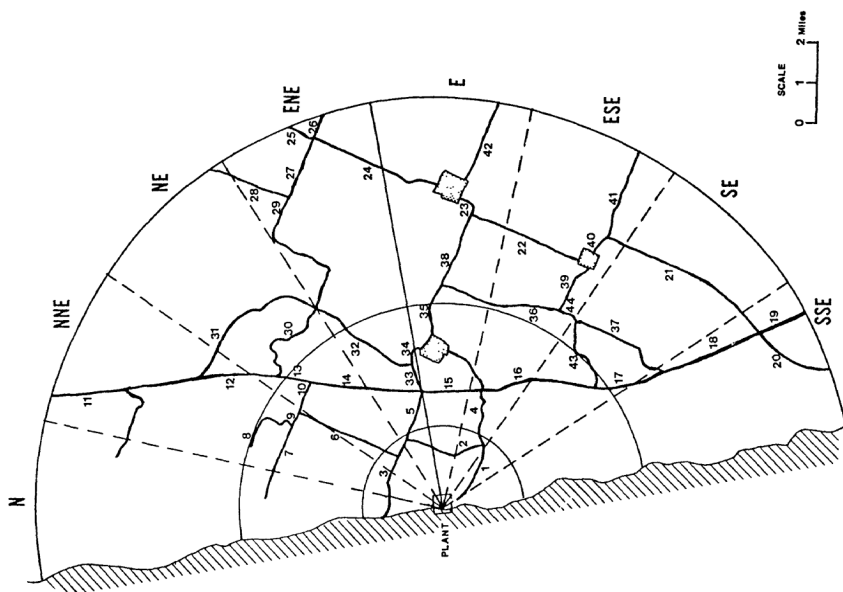


Figure 3: Example of Evacuation Roadway Network

図 2 NUREG-0654 の ETE における車両数分布, サブエリア及び避難ルート [出典: NUREG-0654<sup>(6)</sup>]

表3 避難時間解析 (ETE) の解析結果まとめ表の例 [出典: NUREG-0654<sup>6)</sup>]

サブエリア	2 マイル以内				5 マイル以内					10 マイル (EPZ) 以内				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
定住民数														
定住民自家用車														
一時滞在者数														
一時滞在者車両														
1 時間当たりの 避難交通容量														
通報														
準備に要す時間														
定住民の対応時間 (通常条件)														
定住民の対応時間 (悪条件)														
一時滞在者の対応時間 (通常条件)														
一時滞在者の対応時間 (悪条件)														
総合的避難時間 (通常条件)														
総合的避難時間 (悪条件)														
確認に要す時間														
特殊施設入所者の 避難時間(通常条件)														
特殊施設入所者の 避難時間(悪条件)														



### 3.2 米国における防護対策実施計画の住民への周知

“即時”に防護対策を実施しなければならない事態では、特に屋内退避や避難といった住民自身の行動を要求する対策について、住民一人一人の理解と協力が限り実施は困難である。その前提となるのは、防護対策の具体的な実施計画、あるいは実施要領を事前に作成し、その内容を住民にあらかじめ周知徹底しておくことである。このことは、もちろん、特に“即時”の防護対策に限ったことではない。従来からの原子力緊急事態対応、及び最近重要視されている原子力施設へのテロ攻撃事態対応においても、事前の公衆への教育は重要であると認識されており、2004年の米国調査の際にも、FEMAの広報担当官が、この市民への教育がキーポイントであり、緊急事態管理担当者のチャレンジであると述べている<sup>22)</sup>。

“即時”の防護対策のためというわけではないが、NUREG-0654のG項「公衆への教育と情報」において、平常時における防護対策実施計画等の住民への周知内容と頻度について規定している<sup>7)</sup>。すなわち、周知内容については、最低限以下の項目が含まれていることとしている。

- ① 放射線に関する一般的な知識情報
- ② 問合せの際の連絡先
- ③ 防護対策の方法

例：避難経路、避難先、屋内退避、吸入による被ばくの防止、  
放射線防護薬品（安定ヨウ素剤）

- ④ 要援護者

また、周知の範囲と頻度については、EPZ（10マイル；約16km）内の住民と当該地区の旅行者に対して、毎年実施することが定められている。

計画の周知方法については、電話帳、電気料金支払い請求書、ダイレクトメール等の事例を挙げているが、これに限定するものではないとして、特に制限されていない。各地域で実情に応じて工夫している模様である。

上述したように、このNUREG-0654の住民への周知に関する規定は、防護対策を“即時”実施するためのものではないが、対応時間の有無に係わらず、避難等防護対策を円滑に、混乱なく実施する上で非常に有効であることは明らかである。実際、「即時避難」を導入したNUREG-0654の補足文書3（Supplement 3）<sup>8)</sup>でも住民への周知に関するこの規定は変更されていない。

本第3.2節では、米国で行われている防護対策実施計画に関する平常時の周知方法とその考え方について、典型的な例として、住民へのカレンダー配布と旅行者向けホテル用リーフレットを作成しているカルバートクリフス（Calvert Cliffs）原子力発電所の例、及びIT技術を利用したホームページ（以下、HPという。）による広報を行っているインディアンポイント（Indian Point）原子力発電所の例を中心に、紹介する。

### 3.2.1 防護対策実施計画の住民への周知方法に関する具体例

#### (1) カルバートクリフス原子力発電所のカレンダー

カルバートクリフス原子力発電所はワシントン DC の南東のメリーランド州にあり、夏は海岸やヨットなどを楽しむ客が多く訪れる観光地（州立公園）にある。EPZ（10 マイル；約 16 km）内には、2004 年の時点で人口約 50,000 人、20,000 世帯が居住している。

発電所は、図 3 に示すカレンダーを作成し、10 マイル EPZ 内の全世帯に無料で配布している。カレンダーには、発電所従業員が撮影した発電所周辺の風景写真と一緒に、緊急アラートシステム（EAS）や避難に関する情報を掲載している。

カレンダーには、以下の事項が記載されている。

- ① 原子力発電所で緊急事態が発生した場合、どのようなことが起こりうるのか。（他の発電所の例では、放射線と健康影響に関する基礎的な説明が別途付属しているケースがあるが、カルバートクリフス原子力発電所のカレンダーではそれはない。率直に最悪の緊急事態では放射性物質が空気中や水に放出される可能性があり、健康を守るため、記載されている行動を取るようという内容となっている。）
- ② 緊急事態の種類（各レベル）の違い。
- ③ どこで緊急事態の情報を得るか。（ラジオ、サイレン、火事のサイレンとの違い）
- ④ なぜ屋内に退避しなければならないか。
- ⑤ 安定ヨウ素剤の服用について。
- ⑥ サイレンが鳴ったら、どうしなくてはいけないか。また、してはならないことは何か。（ここで、避難時の注意事項と⑬に関する記載がある。）
- ⑦ 緊急事態対応の対象となる学校はどこか。子供が学校や保育園にいるときに、子供たちはどう対応されるのか。
- ⑧ 特別なケア（要援護者）について
- ⑨ 緊急時のため、平常から用意しておくべき物品は何か。
- ⑩ 家畜や農産物について心配する必要があるか。
- ⑪ その他、よくある質問。
- ⑫ 問合せ連絡先
- ⑬ EPZ の地図、及び防護計画の緊急時対応計画区域と避難施設、避難経路。

上記のカレンダーの各事項の詳細については、我が国の原子力防災に関する広報において参考となる点が多いが、山本らが行った 2004 年の米国調査の報告に記載があるので<sup>22)</sup>、本報告では特に述べない。また、⑫の EPZ 内の防護計画緊急時対応計画区域 や避難経路に関しては、後述の第 3.2.2 項で述べる。ここでは、防護対策実施計画を住民へ周知する手段の観点からカレンダーの配布と要援助者への把握方法について以下にまとめる。

このカレンダーの配布先は、郵便番号をベースに決められている。したがって、EPZ

から外れていても、郵便番号が同じであれば配布される。また、配布区域外についても、希望があれば、発電所の緊急時対応センターで入手することができる。

このカレンダーには、図 4 に示す避難時に特別な援助を必要とする居住者が提出する郵便はがきが付いている。これによって、事業者と地方政府等は要援助者を把握している。このはがきによる登録は、毎年更新するシステムで、「昨年出している、必ずまた出すこと。」という注意が記載されている。

## (2) カルバートクリフス原子力発電所の観光客向けホテル用リーフレット

カルバートクリフス原子力発電所は、前述したように州立公園内の観光地にあるため、図 5 に示す旅行者向けリーフレットを作成し、郡政府がそれをホテルに配布、設置している。このリーフレットは、通常ホテルの入口等にある周辺観光施設の案内リーフレットと一緒に置かれ、旅行者が自由に持って行くことができる。リーフレットの記載事項は、カレンダーとほぼ同様であり、以下の事項である。

- ① カルバートクリフス原子力発電所の緊急事態においては、州と地方政府が緊急時対応計画に基づき防災活動を行うこと。
- ② 放射線とはどのようなものか。
- ③ 身を守るための行動。
- ④ 屋内に退避するよう指示があった場合の心得事項。
- ⑤ 安定ヨウ素剤の服用について。
- ⑥ 避難するよう指示があった場合の心得事項。
- ⑦ 原子力発電所で緊急事態が発生したことをどのように知るか？
- ⑧ サイレンが鳴ったら、あるいは緊急事態発生を知らされたら、どうしなくてはいけないか。
- ⑨ EPZ である 10 マイルの範囲を示す地図
- ⑩ 問合せ連絡先

## (3) インディアンポイント原子力発電所の HP

インディアンポイント発電所は、ニューヨークの北、60 kmほどのところにある。第 2 原子力発電所は、建設当時は 100 万 kW クラスの原子力発電所として世界最大であったが、現在は老朽化が進んでいること、その摂取被ばく経路 EPZ、すなわち汚染された飲食物を摂取することを防止する対策に関する防護対策エリアで、半径 50 マイル（約 80 km）の範囲、にニューヨークが含まれていることから、以前から反対運動があった。さらに 2003 年に前 FEMA 長官として有名なウィット氏（James Lee Witt）が本発電所周辺の防災対策の評価をニューヨーク州から受注し、その問題点を指摘するレポート<sup>23)</sup>を発表し、反対運動にいつそう拍車がかかり、一時は閉鎖の危機に立たされた経緯がある。インディアンポイント発電所の EPZ（10 マイル；約 16 km）には、ウェストチェスター、ロックランド、

オレンジ、プトナムの4つの郡が含まれ、2000年時点でEPZ内に約298,000人の住民がいる。その中でもウェストチェスター（約144,000人、48%）とロックランド（約119,000人、40%）の2つの郡に90%近くが集中している。この2つの郡の住民はニューヨークへ通勤するものが多く、ウェストチェスターには邦人も多数居住している。

以上のようなこともあり、インディアンポイント発電所の緊急時避難計画の市民向け情報は、調査した中では最も詳細で分かりやすいものとなっている。

インディアンポイント発電所では、緊急時避難計画の市民向け情報はそれぞれの郡から個々に発信されているが、米国の他の原子力発電所と同様に配布用ブックレットを作製し、そのブックレットは4つの郡がすべて同じ様式に統一されている<sup>24)</sup>。また、そのブックレットは英語とスペイン語の2つの版が用意され、英語が分からない人にも配慮されている。ブックレットの記載事項は、前出第3.2.1項のカルバートクリフス原子力発電所のカレンダーのものと基本的に同じである。ただ、このブックレットは放射線影響に関する基礎的説明と“よくある質問”がより充実している。

この地区において特筆すべきは、ウェストチェスター郡とロックランド郡のHPの緊急時避難計画サイトである<sup>25,26)</sup>。内容としてはブックレットと大きな違いはないが、Webによる地理情報システム（Indian Point Interactive GIS Mapping System）を導入し、住民がいつでも簡単に緊急時に関する情報を入手できる。このシステムは、ウェストチェスターとロックランドの各郡がそれぞれ制作しているが、ロックランド郡のHPが内容や使い易さの点でより優れていると思われる。これらのHPの製作費用は事業者が拠出している<sup>22)</sup>。

図6に示すのはウェストチェスター郡のHPに設置されている緊急時避難計画サイトである<sup>25)</sup>。このシステムは、誰もがインターネットで簡単に緊急時の対応や避難計画を理解できるように、GIS技術を活用し、表示された地図上をクリックする、あるいは郵便番号や住所を入力すると、ただちに自分がどの緊急時対応計画区域に属しているか、どのように避難すればよいか知ることができる。次節3.2.2では、避難に関する情報内容の詳細についてロックランド郡の例を用いて述べる。

### 3.2.2 住民への周知内容とその考え方

カルバートクリフス、あるいはインディアンポイント原子力発電所の例に見るように、避難に関する住民への周知方法は地域によってそれぞれであるが、その周知事項については、NRCの規準もあることから、第3.2.1項で述べたカルバートクリフスのカレンダーの記載事項と大きな違いはない。ここでは、特に避難計画の広報内容について、最も分かりやすいロックランド郡が制作したインディアンポイント原子力発電所の配布用ブックレット<sup>24)</sup>及びHPの緊急時避難計画サイトの例<sup>26)</sup>を用いて紹介する。

避難計画に関わる広報情報は、必ず以下の事項を含んでいる。

- ① 防護計画における避難を含む防護対策の適用対象地区範囲、すなわち EPZ,

を示す地図

- ② EPZ 内の緊急時対応計画区域
- ③ 避難施設とその場所、及び緊急時対応計画区域の割当て
- ④ 緊急時対応計画区域と避難経路

ロックランド郡の HP に設置された緊急時避難計画サイトの初期画面を図 7 に示す<sup>26)</sup>。この画面では既に上記の①EPZ 範囲と②緊急時対応計画区域が示されている。画面上の地図を詳細化でき、住民は自分のいるところがどの緊急時対応計画区域であるか、容易に知ることができる。また、PC 画面上のポインタ脇に、常にインディアンポイント原子力発電所からの直線距離を表示することもできるようになっており（図 7 ではポインタが消えているが、地図上中央の少し上方に距離情報のみが表示されている。）、旅行者等が自身の位置を把握したり、地域の防災担当者が入手情報に係わる位置を確認したりすることができ、有益であると思われる。

当該緊急時対応計画区域の避難先施設は、自分の住所、あるいは近くの交差点等から検索すると、画面右側に詳細情報が示される。図 8 に検索結果の一例を示す。緊急時対応計画区域と避難先施設は 1 対 1 で割当てられている。逆に避難先施設の住民受け入れ容量から、より細分化した緊急時対応計画区域を設定することもあるものと考えられる。図 8 の画面上から検索住所の候補をクリックすると、さらに避難経路及び避難先施設等詳細情報が地図とともに表示される。図 9 に 35 番の緊急時対応計画区域の表示例を示す。緊急時対応計画区域は必ずしも行政区に一致しているわけではない。我が国においても、行政区が広く、避難計画上細分化が望まれるような地区があるが、行政区をさらに細分化したり、あるいは統合したりしても、このような周知方法を用いて平常時から広報を図っていれば、住民側の混乱はかなり低減できるものと考えられる。

図 9 のように HP 上では、避難経路は色を変えて表示されるだけであるが、ブックレットの地図にはさらに道路上の進行方向まで示されている。図 10 にブックレットの緊急時対応計画区域と避難経路、避難施設が記載されている地図を示す<sup>24)</sup>。交通規制はこれにしたがって実施される。平常時から避難対象地区と避難経路及び避難先施設を固定化しておくことによって、緊急時の交通規制についても、より適切な方法を事前に検討、準備できるメリットが生じる。

このロックランド郡の北側はオレンジ郡と北東方向の境界線で接しているが、図 10 を見ると、40 番の緊急時対応計画地区は両郡を跨いでおり、避難経路もオレンジ側からロックランド側に流れ、避難所の学校 C で、36、37 番地区と合流することが分かる。このインディアンポイント原子力発電所の周辺の 4 つの郡は全体として非常によく連携がなされ、郡境界を越えた、合理的な避難計画が整備されている。

自家用車がない人には、隣近所の助成を受ける、もしくは郡が用意する緊急特別バスを利用する。ロックランド郡のブックレット及び HP には、このバスの運行ルートが記載されている。図 11 にブックレットに記載されている避難用バスの運行ルート一覧表の一部

を示す<sup>24)</sup>。緊急時対応計画区域の番号と運行ルート、及び乗車ポイントが記載されている。この避難用バスの運行状況と時間は、TV及びラジオの緊急時放送で繰り返し広報される。

学校の児童・生徒は、学校毎に避難先があらかじめ決められており、スクールバス、あるいは州の軍などのあらかじめ契約したところからバスが出て、移送される。子供達を即下校させるか、校舎内に退避させる、あるいは避難させるということを判断するのは各郡の緊急事態担当者（county emergency officials）である<sup>24)</sup>。

学校の避難先は一般住民の避難先とは異なっているが、学校と避難先はパンフレット及びHP等で事前に住民に周知されているので、両親は避難後に子供と会う、あるいは連絡することが容易にできる。また、パンフレット及びHP等では、親に対して「学校に問合せをしないこと」、さらに「学校に子供を迎えに行ってはならないこと」を注意している。

図12にロックランド郡のHPに設置されている学校の避難先一覧の一部を示す<sup>26)</sup>。この避難先一覧は、図7に示した緊急時避難計画サイトの初期画面からタブを選択するとすぐに表示される。

身体的障害や妊娠、高齢により、自力で自宅からの避難が困難ないわゆる“要援助者”の避難については、前述した避難時に特別な援助を必要とする居住者の登録用はがき（図4参照）を利用している点はインディアンポイント原子力発電所も同じである。このはがきをもとに、郡や市町村が“要援助者”リストを作成し、避難勧告が出されると、これをもとに各“要援助者”の家を回り、避難先施設や避難先病院に移送する。この作業は市町村当局だけではなく、消防、警察に協力要請がなされるのが普通である。また、屋内退避の場合は、通常はTV及びラジオの緊急時放送で広報することになるが、このような“要援助者”に対してはさらに市町村当局がそれを伝えてまわる。一人暮らしの盲目の人々については、デイケアがサポートするなど、別に援助システムがあるもようである。

米国の原子力緊急時の住民広報は、サイレンとTV、ラジオを主体にしているが、基本的にこのサイレンは、緊急情報を流すTV、ラジオのスイッチを入れるよう促すためのものである。そのため、サイレンが届かない地域には、警察が直接広報に当たる、あるいは特別な警報用ラジオを当該住民に渡している（我が国の防災行政無線と同様なシステムと考えられる）。また、旅行者等のために、公園や公共施設等に緊急事態発生時の対処法等を掲示している<sup>24)</sup>（インディアンポイント原子力発電所では、前出のカルバートクリフス原子力発電所の旅行者向けリーフレットのような準備を行っているかどうかは確認できていない）。

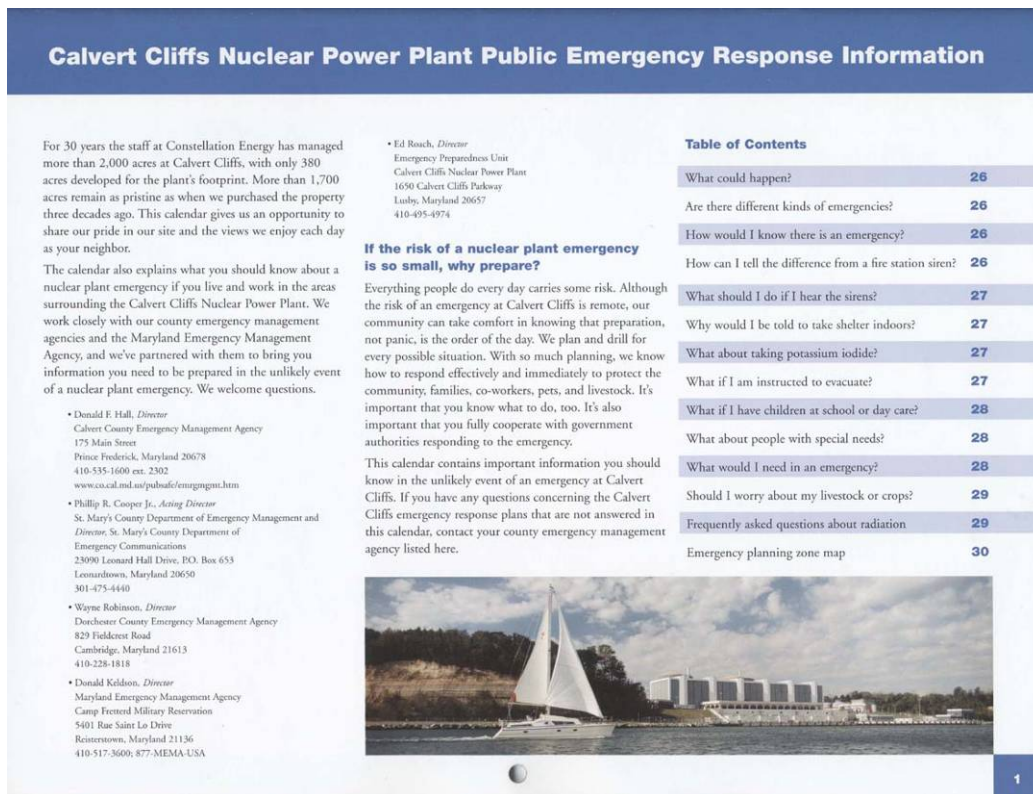


図 3 カルバートクリフス原子力発電所のカレンダー

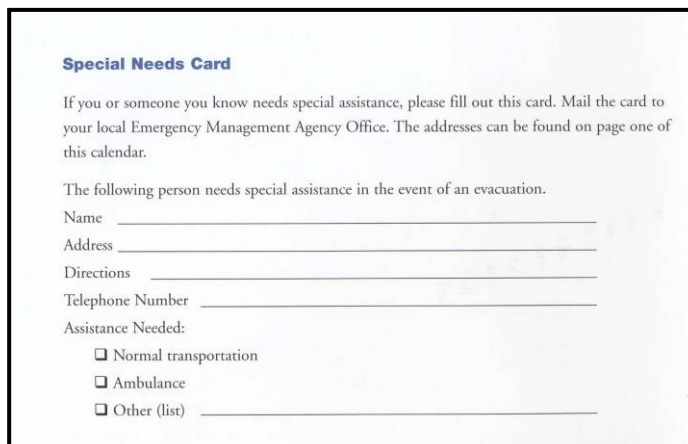


図 4 カレンダーに付属している要援助者登録用はがき

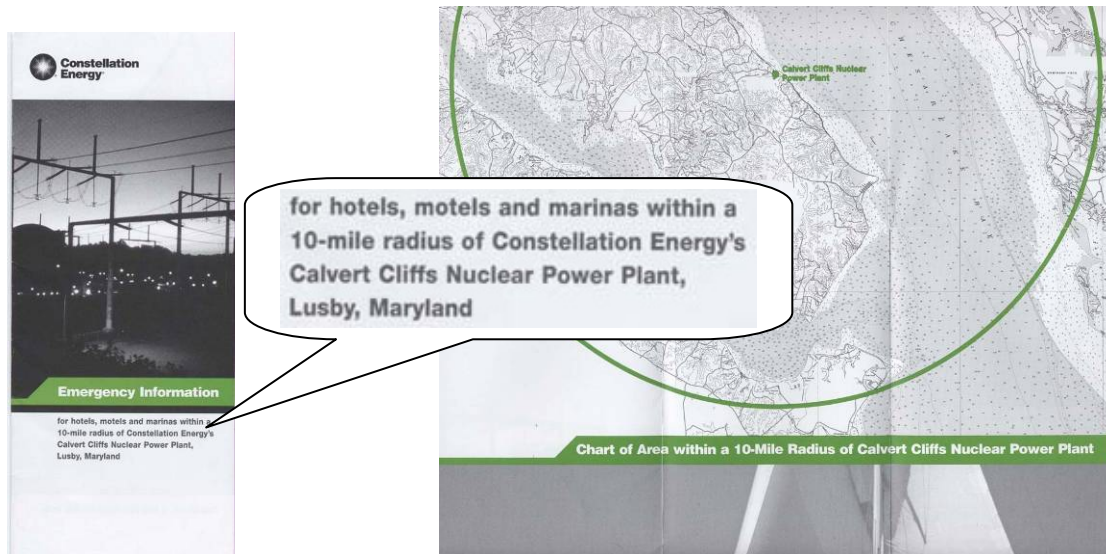


図5 カルバートクリフス原子力発電所の旅行者向けリーフレット  
(表書きとEPZの範囲を示す地図)

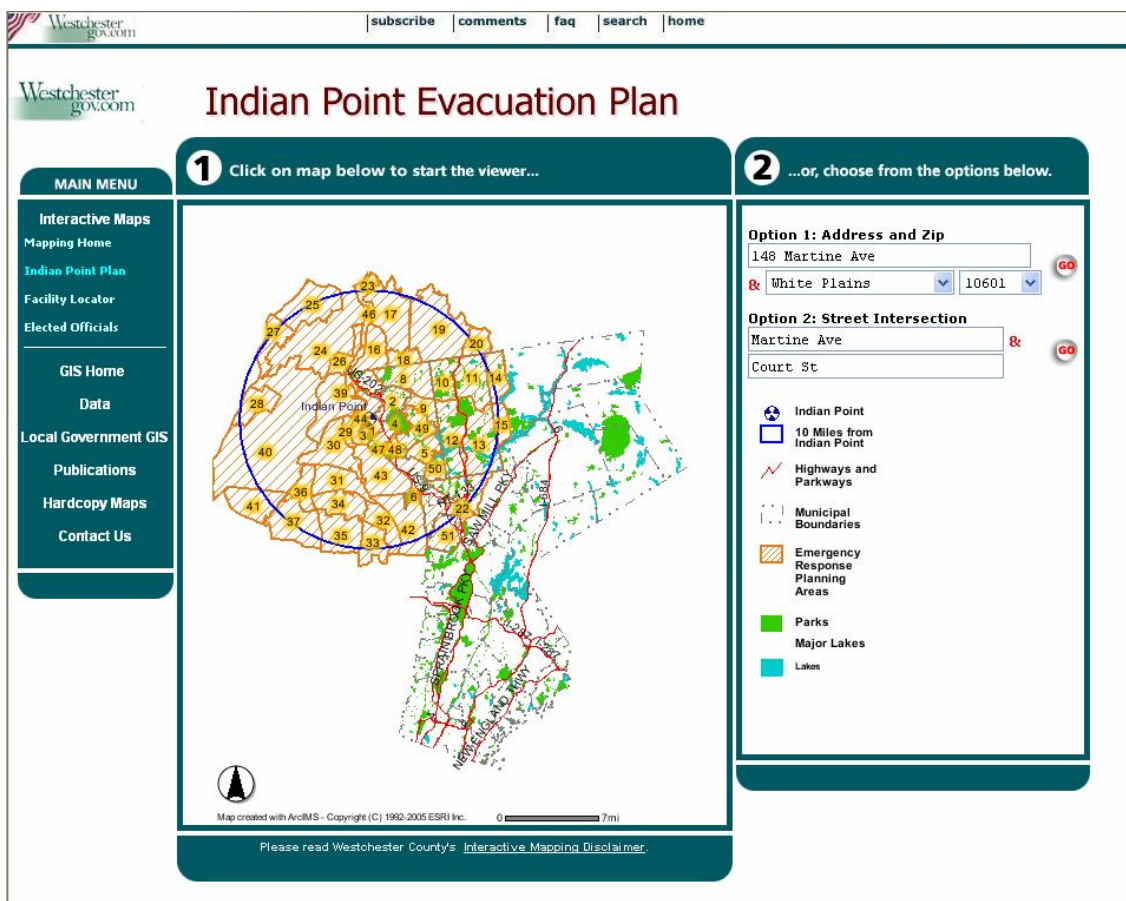


図6 ウェストチェスター郡のHPに設置されている緊急時避難計画サイト  
(出典：ウェストチェスター郡のHP 25)



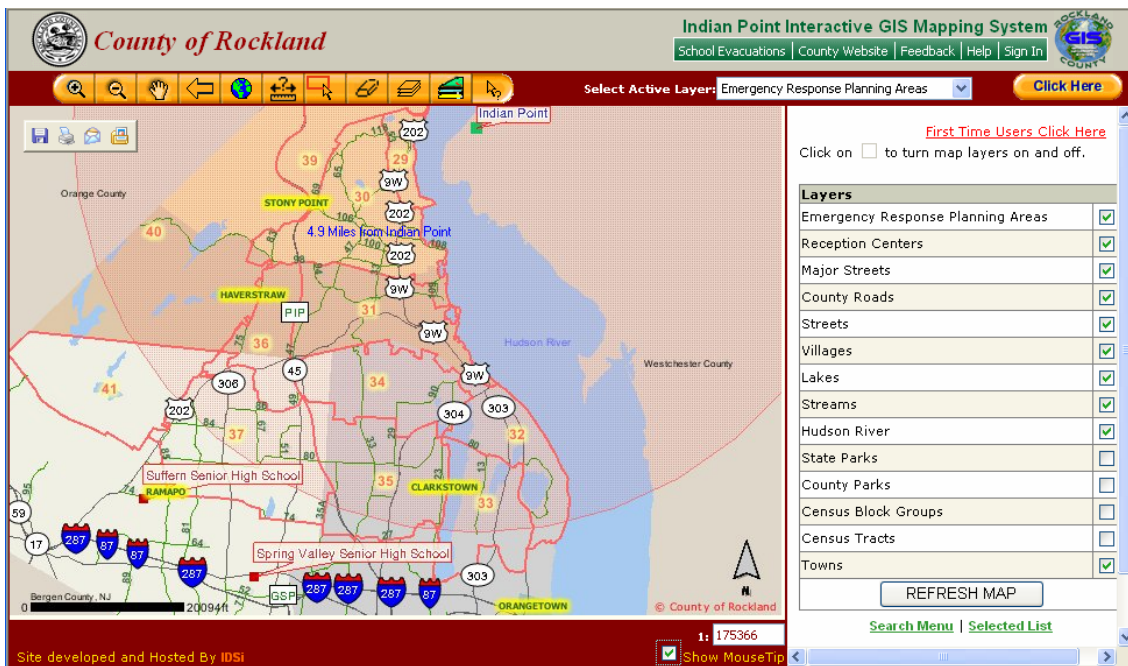


図7 ロックランド郡のHPに設置されている緊急時避難計画サイト  
 [出典：ロックランド郡のHP 26]

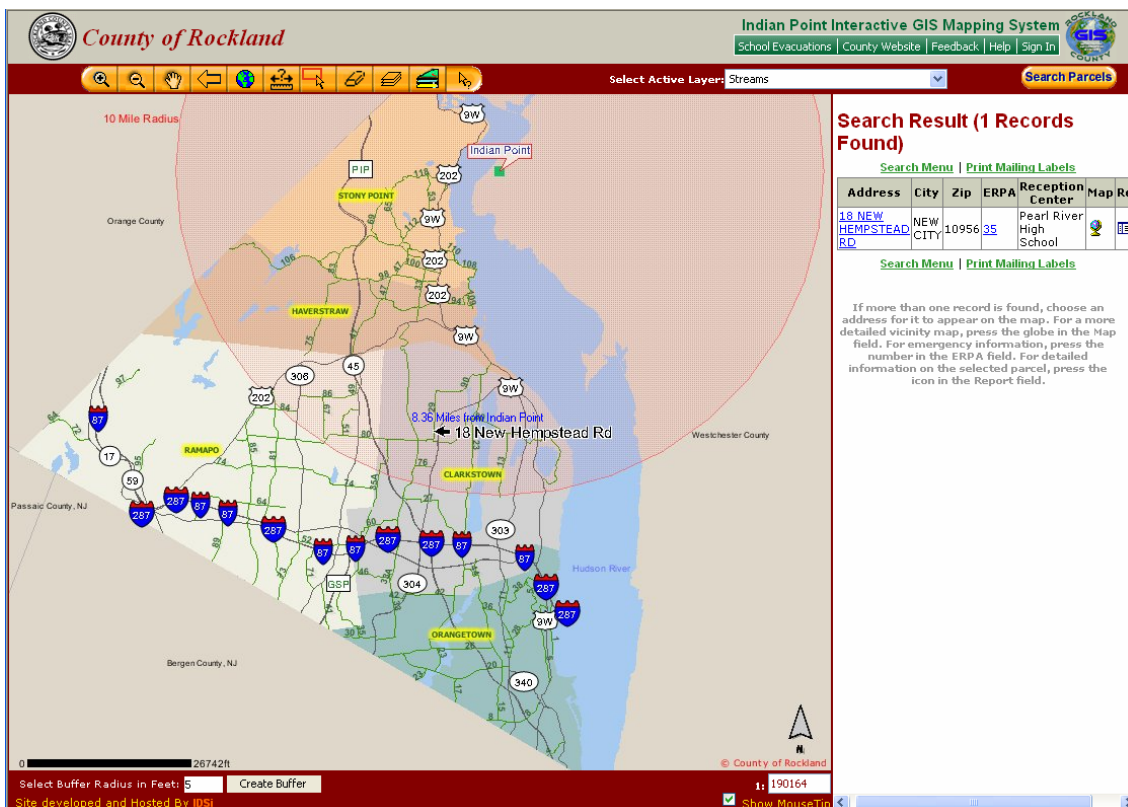


図8 ロックランド郡のHPにおける避難関連情報検索結果の例  
 [出典：ロックランド郡のHP 26]

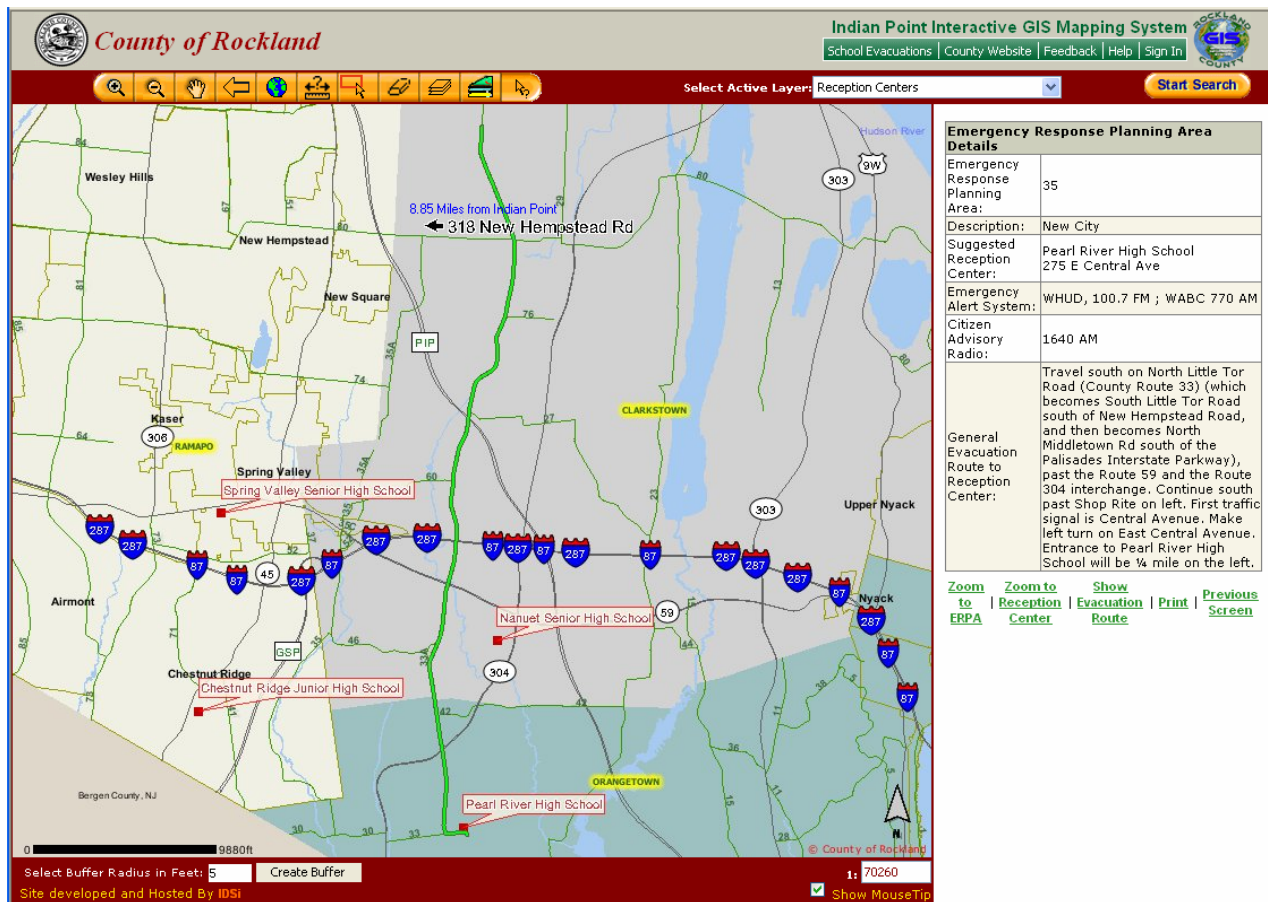


図9 ロックランド郡のHPにおける住所及び避難経路，避難先施設，緊急時対応計画区域の詳細情報の表示例 [出典：ロックランド郡のHP 26]

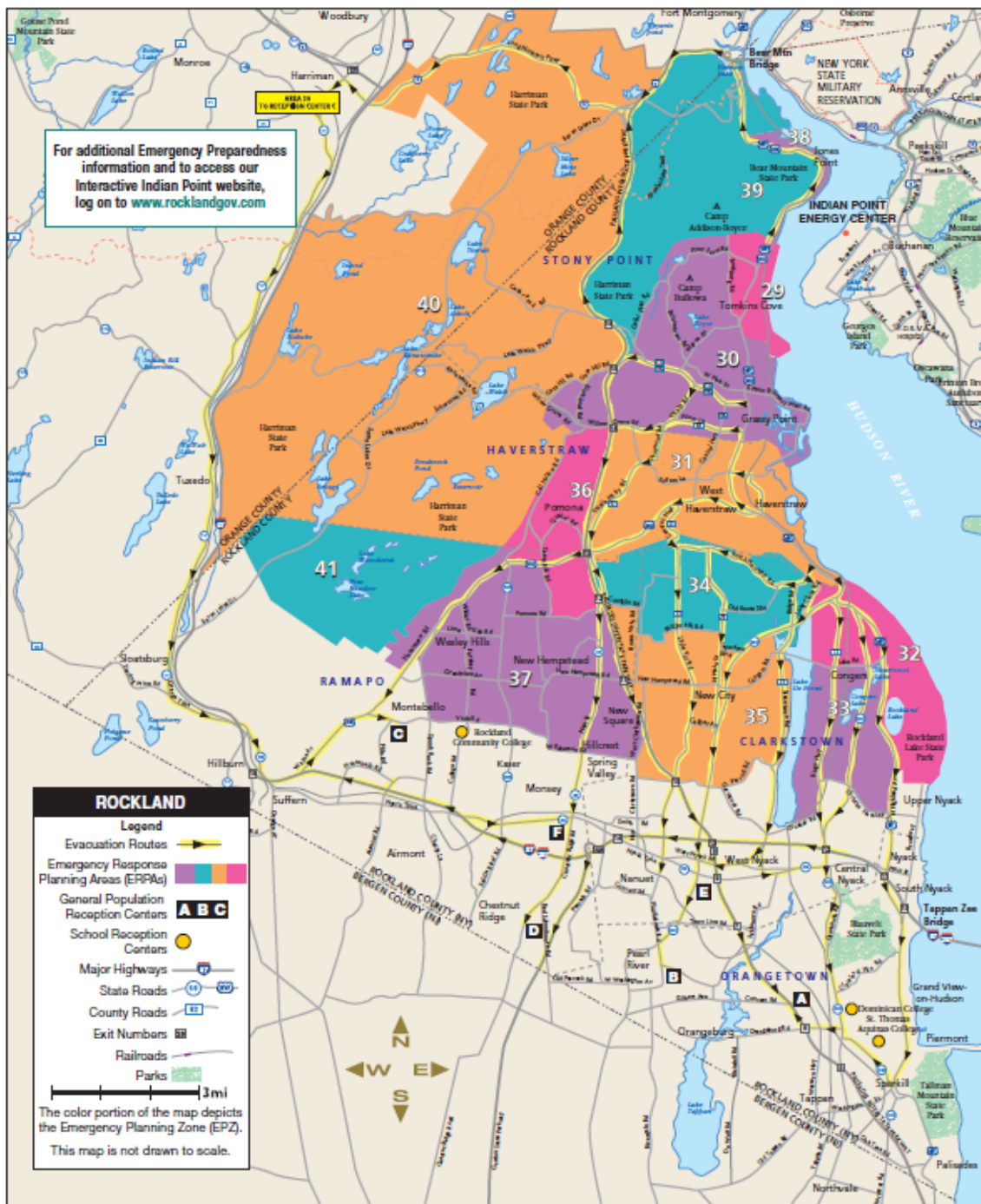


図 10 ロックランド郡のブックレットに記載されている緊急時対応計画区域と避難経路、避難施設 [出典：ロックランド郡の戸別配布ブックレット 24]

## Rockland County Bus Routes

### Bus Service

If you do not have your own transportation out of the area, you can ride one of the buses provided to take you to a reception center or arrange a ride with a neighbor. Following is a list of bus routes and stops in Rockland County. If residents of your planning area are advised to evacuate, locate the nearest bus stop. You will be advised over the radio when the buses will begin picking up passengers.

#### ERPA No.

#### Bus No. Bus Stops

#### 29 & 30 & 38

##### R1

- Old Ayers Rd. at Ayers Rd.
- Rte. 9W at Herbert Ct., Tomkins Cove Library (Church St.), Freehill Rd. & Wayne Ave.
- Wayne Ave. at Concord Dr., Franck Rd. & Rte. 210

#### 30

##### R2

- Adams Dr. at Gilmore Dr. at Gilmore Dr. & Hastings La.
- Hastings La. at Jay St.
- Jay St. at Walnut St. & Ten Eyck St.

##### R3

- Crickettown Rd. at Youngstown Ct. & Victor Dr.
- Heights Rd. between Crickettown Rd. & Miller Rd.
- Franklin Dr. at Ten Eyck St. & Orchard St.
- Church St. at W. Main St.
- Main St. at Crickettown Rd. & Reservoir Rd. at Rte. 210
- Reservoir Rd. at Rte. 210

##### R4

- Filors La. at Govan Dr., Rosebud Dr., Central Highway, Cinder Rd., Lillburn Dr. & Thielis Rd.

##### R5

- Beach Rd. at Gagan Rd., North St. & Beach Rd.
- Main St. at Wood Ave.
- Tomkins Ave. at Farley Dr.
- Farely Dr. at Nordica Circle
- Jackson Dr. at Georglan Dr.
- Park Rd. at Rte. 9W

##### R6

- Central Hwy at Sunrise Dr. & Minnerick Dr.
- Washburns La. at Clark Rd., Central Hwy, Laurel Dr., Elm Dr. & Thielis Rd.

##### R16

- Willow Grove Rd. at Gate Hill Rd.
- Gate Hill Rd. at Blanchard Rd.
- Blanchard Rd. at Willow Grove Rd.

#### 30

##### R18

- Buckberg Rd. at Free Hill Rd.
- Fairview Rd. at Lakeview Dr.
- Lakeview Dr. at Willow Pl.
- Bird Hill Rd. at Mott Farm Rd.
- Mott Farm Rd. at Buisontown Rd.
- Cedar Flats Rd. at entrance to trailer park
- Cedar Flats Rd. at Lindbergh Rd.

##### R19

- Franck Rd. at Dajad Ct., Bullowa Dr., & Buisontown Rd.

#### 31

##### R7

- Rte. 202 at Gurnee Ave., Bridge St., Sand St., Central Hwy. (Main St.), Parker Rd., Woodridge Dr., Martino Way & Phyllis Dr.

##### R8

- Railroad Ave. at Kennedy Dr. & Bridge St.
- Suffern La. at Central Hwy.
- Central Hwy. at Kaemmerlin Ave., Centennial Dr., Cinder Rd. & Dogwood La.

##### R9

- Hammond Rd. at Willow Grove Rd., Birch Dr. & Suffern La.
- Rosman Rd. at Mountainview Dr. & Brisman Dr.
- Jacobs Rd. at Stander La. & Woodridge Dr.
- Rte. 202 at Balsam Rd. & Lillian St.

##### R10

- Thielis-Mt. Ivy Rd. at Richard Ct., Country Club La. & Darlan Ct.

##### R11

- Wayne Ave. at E. Railroad Ave. & Samsondale Ave.
- Samsondale Ave at Tanneyanns La. & Picariello Dr.

##### R12

- Haverstraw Elementary School (Archer St. & Broadway, Haverstraw)

##### R13

- Haverstraw Middle School (Broadway & Grant St., Haverstraw)

##### R14

- St. Peter's Church (Broadway, between Edgar St. & Orchard St., Haverstraw)

##### R15

- Rte. 9W at Kennedy Dr., Halgren Crescent, Gurnee Ave., Westside Ave., New Main St., Fairmont Ave. & Short Clove Rd.

#### 32

##### R44

- Old Haverstraw Rd. at Old Clave Rd., Beacon St., Norfolk Ave., Waltham Ave., Patricia Ave., Westview Ave. & Endicott Ave.

##### R45

- Rockland Lake Rd. at Landing Rd.
- Rte. 9W at Rockland Lake Rd., Dr. Davies Rd. & Lakewood Dr.
- Lakewood Dr. at Beechwood Dr.

図 11 ロックランド郡のブックレットに記載されている避難用バスの運行ルート

[出典：ロックランド郡の戸別配布ブックレット<sup>24)</sup>

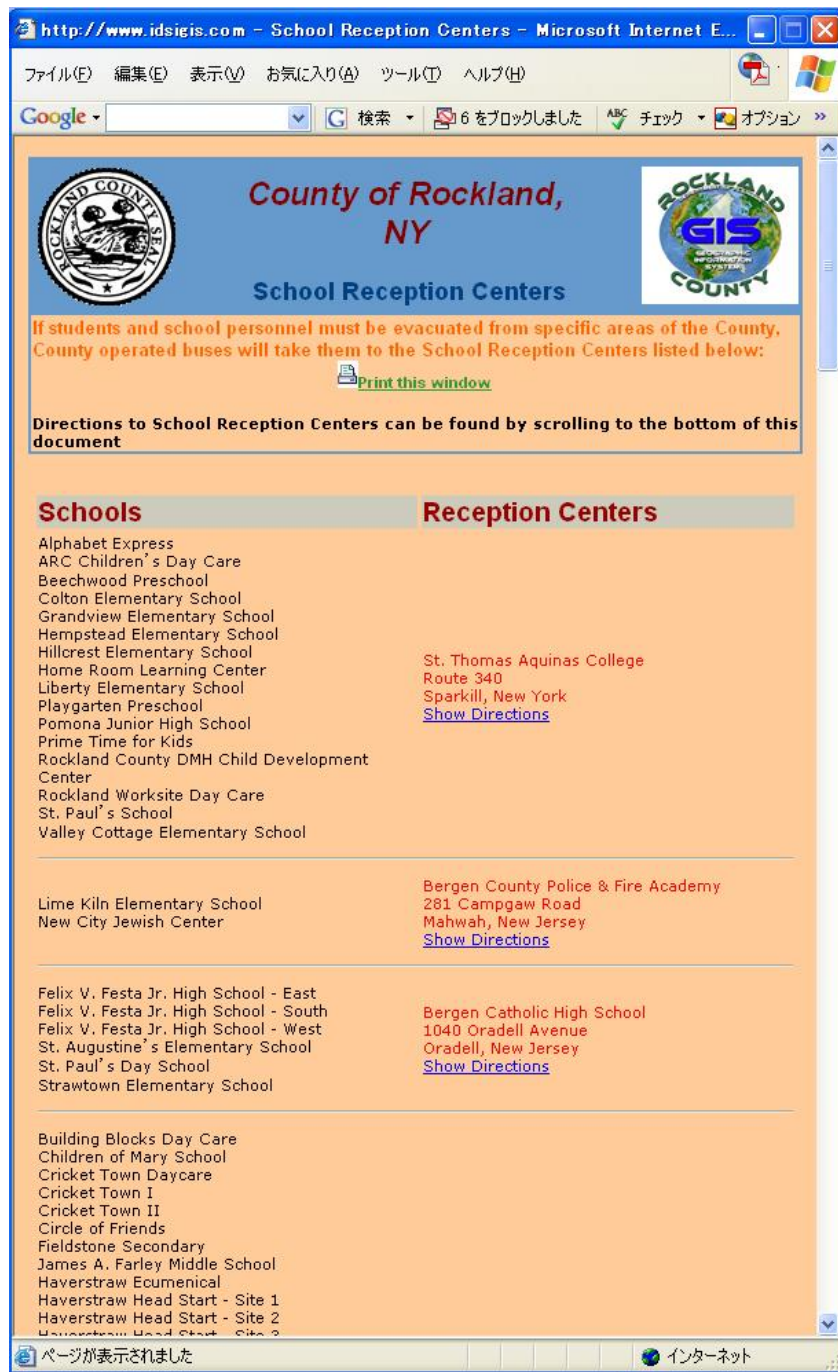


図 12 ロックランド郡の HP に設置されている学校の避難先一覧（一部）  
〔出典：ロックランド郡の HP 26〕

#### 4. 避難時間評価の現状

第3章で述べたように避難時間評価，すなわち ETE，を原子力施設の緊急時対応計画に義務付けたのは NUREG-0654 が最初である。ETE に関する研究は，米国がそれを事業者に実施を義務化していることから，米国がその研究の中心となっている。また，NUREG-0654 が発行されて以来，ETE に係わる多くの研究が発表されているが，米国の避難は，住民が自ら自家用車を用いて避難することが基本である。そのため，ETE に関する研究も交通流シミュレーション技術の適用が主体となっている。NUREG-0654 以前では，化学物質漏洩事故やハリケーンの対策としてこの種の ETE の実績が米国内にあったことが記載されているが<sup>18)</sup>，本調査では，その内容までは確認していない。日本では，ビルからの避難など局所的なエリアからの避難研究は多くなされているが，原子力緊急時のような広い面領域に関する避難について公開されている研究例は極めて少ない。本調査で確認できたのは，石神らが，JCO 事故の後，東海村について実施した例のみである<sup>27)</sup>。

上述のように，ETE に関する研究の多くは米国の自家用車を用いた避難に関するものであり，交通流シミュレーション技術に重点を置かれているため，バスを使って避難させる我が国にそのまま適用することはできない。そこで，今回の調査では，我が国への適用の観点から ETE の考え方と評価手法全般について，最近の米国の ETE 手法を全体的に記載した公開文献を中心にまとめることとし，ETE に係わる個々の計算モデル等詳細についての調査は今後の課題とした。

以下に，最近米国で用いられている ETE の考え方と評価手法について，全体概要を述べる。

##### 4.1 避難プロセス

NUREG-0654 付属書 4 では，第 3.1.1 節(4) - ③項で述べたように，一般的な避難行動のプロセスを，①「避難指示を認知する」，②「自宅に戻る」，③「自家用車で家を出る」，④「避難先に到着する」の 4 過程に分類している<sup>7)</sup>。ETE に関するガイドとして作成された前出の NUREG/CR-6863 “原子力発電プラントの避難時間算定検討の開発”では，（事業者が実施しなければならない）ETE の範囲を，当該原子力施設の周辺にいる個人あるいは世帯が EPZ の外側に移動するまでと定義し，ETE の評価手順として，以下が必要であるとされている<sup>21)</sup>。

- ① 各集団について，その避難行動（イベント）の過程（シーケンス）を特定する。
- ② 各避難行動について，所要時間を得る。
- ③ 各避難行動について，統計計算用の分布モデルを開発する。
- ④ 移動時間を計算する。

我が国で ETE を考える場合，日本に特有の問題を考慮する必要がある。それは，基本的に避難では自家用車を使用せず，地方公共団体が準備するバスを利用すること，また，

それ故に避難住民は一時集合場所に集合するという独特のプロセスが存在することである。図 13 に我が国の防護対策活動の流れと避難プロセスの模式図を示す。

NUREG/CR-6863 では、避難対象住民の避難完了を確認するところまでは ETE の範囲に含めていない。しかしながら、NUREG-0654 付属書 4 では避難完了の確認を ETE 解析結果のまとめ表の項目として含めている（表 3 参照）。また、Urbanik は、避難完了の確認プロセスは重要であると指摘している<sup>28)</sup>。米国では、避難に自家用車を使用させる点からも、避難は各人の責任で行うという基本的な考え方があるものと思われるが、それでも、後述の第 4.4 節に述べるように、市町村レベルでは避難完了の確認を行っているもようである。地方公共団体がバスを手配し、避難住民を移送する我が国では、避難は住民各人の責任ではなく、明らかに地方公共団体の責任のもとに行われている。したがって、避難完了の確認プロセスは、我が国では避難プロセスの一部として必須である。

そこで、以下では、避難プロセスを i) 避難準備段階(避難指示の発令から一時集合場所まで)、ii) 移送段階(一時集合場所から避難所まで)、iii) 避難完了段階の 3 つに分けて述べることとする。

#### 4.2 避難準備段階の時間評価

避難プロセスの第 1 段階は、避難指示（あるいは、勧告）の発令から、住民が一時集合場所に到達するまでの「避難準備段階」である。米国の場合、緊急事態発生を知らせるサイレンの吹鳴から自家用車で避難を開始するまでの期間がこの段階に相当する。

Urbanik は、避難準備期間における避難行動のイベントの流れを以下の 5 つのイベント要素に分け、それぞれのイベント要素に要する時間を評価し、累積する必要性を指摘している<sup>28)</sup>。

イベント要素	内 容
1	警報の発令
2	警報の受取り（警報に対する反応）
3	仕事場から自宅への移動
4	自宅に到着（避難の為の準備）
5	自宅を出発（避難の開始）

この Urbanik の 5 つのイベント要素分類は、実際は住民個人の生活様式に依存し、決してひとつのモデルで評価することはできない。この点は、Urbanik 自身も文献の中で言及しているが、具体的なモデルについては事例で説明するに止まっている。Goldblatt は、Urbanik の 5 つのイベント要素をさらに住民の生活様式に応じて図 14 に示すような 4 つのパターンに分けて評価するとしている<sup>29)</sup>。

各イベント要素に要する時間の評価方法、あるいは評価結果で公開されているケースは非常に少ない。公開されている文献でも、その多くはコンピュータシミュレーションによ

るものであり、その根拠に乏しいが、Southworth は、それらの中から、化学（兵器）工場の事故や洪水、ハリケーンにおける避難に関するデータをベースにしたモデルを紹介している<sup>30)</sup>。また、Goldblatt らは、この種のヒューマンファクターを評価する上で電話調査が非常に有効であったと報告している<sup>31)</sup>。

国内においては、佐藤らが、確率論的安全評価(PSA)研究における避難による被ばく低減効果の解析を行うための手段として、原子力緊急時の一時集合に要する移動距離分布の推定手法を開発し、「集合場所参集に要する移動距離」の推定を行っている<sup>32)</sup>。この推定手法は、住民の分布と一時集合場所とをボロノイ図法 (Voronoi diagram) を用いて関係づけた、非常に単純化したモデルを用いている。本手法は、参集移動経路を直線に置換えていること、及び一時集合場所を最寄りの施設と設定しているため、必ずしも地域防災計画で設定されている施設ではないことから、移動距離を過小評価する傾向がある。佐藤ら自身が指摘するように、今後実際に使用される道路ネットワークと一時集合場所施設を考慮するような手法の改良が望まれるが、膨大な PSA 解析の中で適用する場合には、むしろこのような単純化したモデルの方が有利である。また、この推定手法は、上述した Urbanik の 5 つのイベント要素分類の⑤に相当するが、避難住民が一時集合場所に集合するという我が国特有のイベント要素に着目した文献である。

避難住民が一時集合場所に集合する過程に関する佐藤らの推定手法は移動距離を与えるところまでであるため、避難時間を求めるためには、さらに住民の歩行速度に関するデータが必要である。原子力緊急時における避難に関し、住民の歩行についての評価に言及した文献は国内外でもほとんどなく、解析するための詳細なデータを記載したものはないが、一般災害やビルからの避難等に関しては歩行による避難についての多くの研究例が国内でもある。これらの知見を取り入れ、計算手法を確立してゆくことが今後の課題である。

さらに、一時集合場所に参集した住民は、そこでバスが発車するまで待つことになるが、これは集合場所への住民の参集状況に依存し、参集する予定の住民をいつまで待つかという避難バス運用上の問題に対する地域の考え方の違いも大きく影響を及ぼす。

避難住民をバスによって移送する場合、避難準備段階の時間評価において、もうひとつ重要な評価要素が存在する。それはバスの調達に要する時間である。これは、避難住民すべてを一回の輸送で移送できるだけのバスの台数を、地元配置、あるいは地元で運転されている車両で、住民が一時集合場所に参集する前に調達できれば、考慮する必要はない。我が国の場合、各地の地域防災計画に周辺地域からの調達可能なバスの台数に関するデータがまとめられている。これによると、考慮する必要のない地域も少なくないものと思われるが、人口の大きな地区、あるいはバスの保有台数が少ない、運行会社等が近くになかった地区では、自衛隊等へ車両及び住民の輸送の支援を受けるなどの対策が必要と考えられる。しかし、地域によっては自衛隊の支援を受けるのに数時間を要する可能性がある。このようなケースでは、地元で調達できるバスによるピストン輸送を想定する必要があり、これが避難準備段階のみならず、次の第 4.3 節に述べる移送段階をも律速してしま



う点が重要である。さらに第 4.3 節に述べるように、一時集合場所において長時間住民を待機させることは、住民の自家用車による脱出を促進する可能性が高く、避難計画全体を混乱させるという点で注意が必要である。したがって、バスの調達は避難の実施決定前の、かなり早い段階から準備することが肝要である。

バスの必要調達台数は避難住民数、すなわち避難対象地区の大きさに依存している。第 5 章で述べるように、避難対象地区の大きさと住民数、バスの必要台数の関係を整理している地方公共団体はまだ一部に過ぎない。避難準備段階の時間評価の観点で、この 3 者の整理は非常に重要である。

#### 4.3 移送段階（一時集合場所から避難所まで）の時間評価

避難プロセスの第 2 段階は、一時集合場所に参集した住民を避難所まで移送し、到着するまでの「移送段階」である。米国の場合は、自宅から避難所までの自家用車による移動期間が相当する。この避難プロセスでは、ある特定の時刻から急激に交通需要が増加することが特徴であり、渋滞の発生状況や周辺地域で実施される交通規制の影響が非常に大きい。

移送段階に関して、NUREG-0654 付属書 4 における“待ち行列”解析を行う必要性に関する指摘<sup>7)</sup>や ETE に関するガイドといわれる NUREG/CR-6863 における交通量調査の結果をベースに移動計算をするべきことの指摘など<sup>21)</sup>、NRC は具体的に考慮すべきいくつかの点を指摘している。その結果、移送段階の時間評価には交通流シミュレーションコードを適用する必要があることとなる。

しかし、前述したように NUREG-0654 には具体的な計算方法まで記載されていないし、NUREG/CR-6863 では、道路ネットワークに対してミクロ（車両 1 台 1 台に着目した詳細計算）で解くのか、マクロ（車両の流れに注目した計算法）に解くのか、どういう計算法がよいか、という解析技術については、解析対象となる地域特性に合わせて選択することが重要であると記載するに止まり、やはり計算法そのものの選択や考え方について具体的に紹介されていない。また、NUREG/CR-6863 では、計算には非常に多くのパラメータと予測できない要素が含まれるため、大胆な仮定とモデル化が重要であると指摘している。しかし、このことは、ETE が非常に専門的な作業であり、各地方公共団体の担当者が自身で実施できるものではないということを示唆している。

以下では、移送段階の時間評価について、交通流シミュレーション技術を利用する米国の例と我が国で得られている火山噴火における避難経験の知見等について紹介する。

##### 4.3.1 移送段階の時間評価における交通流シミュレーションの利用

原子力発電所の地域防災計画において実施が要求されている ETE に交通流シミュレーションが利用されるようになったのは、NRC が 1980 年に NUREG-0654 を発行して 5 年ほど後である。

NUREG-0654 付属書 4 を受けて FEMA は、原子力発電所事故時の避難計画検討を目的とした広域交通流シミュレータの開発を KLD 社の Goldblatt らに委託し、1984 年に I-DYNEV (Interactive DYNAMIC EVacuation) コードを構築した。それ以降、I-DYNEV コードは 25 年以上に渡り米国内の原子力発電所が作成する地域の防災計画策定に最も広く利用されてきた実績を持つ<sup>31)</sup>。I-DYNEV コードは、連邦道路庁 (FHWA) の道路施策検討のために開発された TRAFLO コードや CORFLO コードといった交通シミュレータをベースに開発されたマクロシミュレータであるが、単純な車両の流れだけを扱うのではなく、車両の隊列に注目した計算法 (Meso-scopie) を採用している点で、マクロシミュレータとミクロシミュレータの中間的な手法であるといわれている<sup>30)</sup>。そのため、I-DYNEV コードを利用した KLD 社の原子力発電所の地域防災計画コンサルティング業務は、その避難に関わる交通規制等の道路施策の検討能力を強調している。

現在、I-DYNEV コードは、避難車両の経路選択を確率論的に最適化する TRAD (Traffic Routing And Distribution) コードとともに PCDYNEV (PC-based DYNAMIC Network EVacuation) というコードに統合され、PC で解析できるようにプログラムが高度化されている<sup>31)</sup>。I-DYNEV コードは、NRC がテキサス交通局に委託してモデルの検証を行っている<sup>29)</sup>とされるが、その文献は入手できていないため、現状では確認できない。

しかし、KLD 社の I-DYNEV コードを利用した原子力発電所の地域防災計画コンサルティング結果が米国社会で話題となった 2 つの例については、公開文献として入手可能である。以下にその概要を述べる。

ベルモント・ヤンキー (Vermont Yankee) 原子力発電所が 2005 年、10 年ぶりに防災計画の ETE を KLD 社の Goldblatt らに委託し、見直しを実施した<sup>33)</sup>。その結果、最大の町であるブラッテルボロ (Brattleboro) の住民避難は最大 3 時間とされていた ETE 結果に対して、Goldblatt らの新しい評価では、冬季の平日、積雪状態の条件では 6 時間 48 分を要することが分かった。また、夏の日中のよい条件では 3 時間 55 分という結果であった。この解析において、I-DYNEV コードが使用されている。

同様な結果はインディアンポイント原子力発電所における ETE 再評価でも生じている。インディアンポイント原子力発電所における ETE 再評価は、2002 年に事業者であるエンタジー社から KLD 社の Goldblatt らに委託された。その評価報告書はインターネット上に公開されていないが、Goldblatt がその概要を米国の輸送研究委員会 (Transportation Research Board : TRB) の 2004 年の年会で報告している<sup>34)</sup>。また、前出のニューヨーク州の委託を受けて実施されたウィット・アソシエーツ (James Lee Witt Associates) の防災対策評価報告書 (Review of Emergency Preparedness of Areas Adjacent to Indian Point and Millstone, 2003 年) にその詳細が記載されている<sup>23)</sup>。ウィット・アソシエーツの防災対策評価報告書は、ETE だけでなく、防災訓練を含む防災計画全体を独自に取得・評価したデータに基づいて評価したものである。

ここでは、Goldblatt の 2004 年の TRB 年会における報告とウィット・アソシエーツの

評価報告書のインディアンポイント原子力発電所における ETE 評価に関する第 5.1 章から、移送段階の時間評価に係わる重要な事項を紹介する。

Goldblatt らによるベルモント・ヤンキー及びインディアンポイント原子力発電所の ETE 再評価の最も重要な点は、解析コードの改良ではなく、原子力緊急時における避難時の住民行動に関する知見の反映である。図 15 に Goldblatt らが使っている避難指示の緊急広報が発令した時の住民行動のモデルの概念図を示す<sup>23,34</sup>。図 15 において、EPZ (10 マイル；約 16 km) 内の一部、すなわち中央のキーホール形状の地域、が本来避難指示されている地域である。それに対し、そのキーホールの地域を取囲む風上側の地域で 50% の（避難の必要のない）住民が、また、避難対象地域の外側でも EPZ 内である地域の 25% の（避難の必要のない）住民が自主的に避難を開始してしまう。一方、EPZ の外部でも 10% の住民が避難の移動を開始する“影の避難”（Shadow evacuation）が存在する。この EPZ 内の自主的避難や EPZ 外の影の避難の解析用モデルは、電話調査による住民調査を基にして作られたものであるが、自家用車によって避難する米国の場合、この自主的避難や影の避難が本来の避難住民の移動の非常に大きな障害となり、この影響は ETE の結果を大きく左右する。

我が国のように、バスによる避難住民の移送でも、米国と同様に避難指示の発令とともに自家用車を使った EPZ 内の避難の必要のない住民による自主的避難や EPZ 外の住民による影の避難が行われる可能性は高く、このような状況を想定したケーススタディを交通流シミュレーションコードを用いて実施しておくことは、避難時の交通規制を考える上でも必要と思われる。

次に再評価において重要な点は、避難住民の人口データの更新である。ベルモント・ヤンキー原子力発電所のケースと同様に、インディアンポイント原子力発電所でも 10 年ほど前の ETE 結果に対して、Goldblatt らの新しい評価では 2 倍を越える時間が必要であるという結果となった。2002 年の Goldblatt らによるインディアンポイント原子力発電所の ETE 再評価の妥当性を検証するため、ウィット・アソシエーツは、Innovative Emergency Management 社(IEM) を使って、当該評価に用いられた I-DYNEV コードのデータベースの裏付けの詳細な確認作業を実施している<sup>23</sup>。その結果、Goldblatt らの新しい評価は概ね妥当なデータをベースに評価されており、信頼してよいと結論付けている。そこで、ウィット・アソシエーツの防災対策評価報告書は、避難計画策定に使われる住民の人口データが更新されていない点を厳しく批判している。Goldblatt らの新しい評価において ETE が 2 倍を越える結果となったのは、自主的避難や影の避難の影響以外に周辺人口の増加が著しいことが大きい。

NUREG-0654 及びその付属書 4 では、住民の人口データの更新頻度については明確に規定していない\*。2005 年のベルモント・ヤンキー原子力発電所の再評価後、FEMA は

---

\* : Nuclear News 2007 年 7 月号によると、2010 年までに NRC は現在の放射線緊急事態準備 (REP)

防災計画の ETE に用いる人口データの更新を最低 10 年毎に実施するように指示を出した模様である<sup>33)</sup>。しかし、ウィット・アソシエーツの防災対策評価報告書は、ETE データの見直しと再評価は、国勢調査が実施される度、及び（大きな企業の進出や土地開発等によって）人口に有意な変化があった場合に行われるべきであると指摘している<sup>23)</sup>。

移送段階の時間評価に関し、NUREG/CR-6863 で唯一具体的な計算手段として参考文献に引用しているのは、オークリッジ国立研究所(ORNL)で開発された OREMS (Oak Ridge Evacuation Modeling System) である<sup>21)</sup>。OREMS コードは、FEMA と米国陸軍の委託により化学物質貯蔵庫（化学兵器貯蔵庫）爆発事故の避難計画検討用に開発された広域交通流シミュレータで、FEMA と米国陸軍が共同運営している化学物質貯蔵庫緊急時準備プログラム（CSEPP : Chemical Stockpile Emergency Preparedness Program）における主要な評価ツールのひとつである。OREMS コードは、交通量を流体近似して取扱うマクロシミュレータのひとつであり、開発者の一人である Rathi は、I-DYNEV の入力データの作成やコードのチューニング、解析結果の分かり難さなど、システム利用上の取扱い難さを指摘し、OREMS コードが PC で計算できるコンパクトな解析コードであり、かつ地図からの道路情報入力や解析結果の表示に高度な GUI (Graphical User Interface) 機能を備えるなど、その計算の速さと扱い易さに開発の重点を置いたことを強調している<sup>36)</sup>。これは、化学物質貯蔵庫事故では、まさに“即時”の避難が要求され、さまざまな避難パターンについて事前検討を行うことが求められるためと考えられる。現在では I-DYNEV コードも、前述のように PC で計算できるように改良され、入力データの作成や解析結果表示に GUI 機能を採用しており、Rathi が指摘しているような問題は解消されているもようである<sup>29)</sup>。

この OREMS コードは、I-DYNEV コードの後継解析ツールを目指して開発されたものと考えられ、開発後の早い段階から原子力発電所事故に対する防災対策に適用されたもようであるが、I-DYNEV コードのように公開された具体的な解析例はない。最近では山火事等の一般の緊急時にも適用されるようになり、米国運輸省 (DOT) が避難計画への使用を認めている解析コードの中で、その入力データと解析設定の容易さ及び計算の速さの点から最新のツールとして認定されている。

OREMS コードは 2002 年に PADRE システムという防護措置決定支援解析コードと統合された<sup>37)</sup>。これは、避難範囲と経路、時間等から被ばくを最適化する防護措置についての意思決定支援システムである。前出の石神らの OPT システムも被ばく及び経済効果の最適化を支援するという点でこれと同様な総合的解析システムである<sup>27)</sup>。

また、OREMS コードを開発したオークリッジ国立研究所の国立輸送研究センターが開発したリアルタイム交通流評価予測システム (TrEPS : real-time Traffic Estimation and Prediction System) は、米国運輸省連邦道路庁が構築した高度道路交通システム (ITS :

---

に関する規則の見直しを計画しており、そこで ETE のデータの更新・再評価を盛り込むもようである<sup>35)</sup>。

Intelligent Transportation Systems) に採用されている交通流評価予測システムである。これは、平常時の道路交通管理のみならず、緊急時の道路交通管制も含んだシステムであり、ハリケーン等の災害発生時においてリアルタイムで避難車両の交通流情報を収集、分析し、交通規制にフィードバックすることができる。この TrEPS システムの緊急時道路交通管制に、シミュレーションコードとして OREMS コードが組み込まれているかどうかは確認できないが、NUREG/CR-6863 は、原子力緊急時の避難等の実施において、米国運輸省連邦道路庁の高度道路交通システム (ITS) の緊急時道路交通管制の利用をひとつの手段として紹介している<sup>21)</sup>。

一方、I-DYNEV コードも、単なる避難計画検討のための交通流解析だけではなく、上述の TrEPS システムと同様に、緊急時において刻々と変化する交通流情報から逐次適切な交通規制方法をリアルタイムで検討するための緊急時計画システム (real-time emergency planning system) として拡張されているもようである<sup>31)</sup>。

このように、避難時間評価シミュレーションシステムは初期の避難時間評価ツールから、原子力緊急時の避難方法を (被ばく量と経済効果の観点から) 最適化することを目的とした総合的解析システム、あるいは意思決定支援システムに拡大している傾向がある。しかし、一方で解析システムが高度化しすぎ、専門家でなければ使えないという実情があるものと考えられる。我が国で ETE を導入する場合、住民避難計画の策定に携わる地方公共団体の防災担当者を専門的にバックアップする仕組みが必要である。

また、緊急時において住民避難を円滑に実施するため、タイムリーに交通規制等を実施・変更していくことが重要であるが、交通流情報をリアルタイムに入手し、交通規制や避難経路の変更の検討に反映することは非常に有効である。I-DYNEV コードのリアルタイム緊急時計画システムや TrEPS システムのような高度のシステムではなくとも、このような検討に使うための実務者向けツールが警察や地方公共団体に必要であると思われる。

移送段階の時間評価における交通流シミュレーションの利用状況は、前述の 2 つのシミュレーションコード以外にもいくつか存在する。いずれにしても、シミュレーション解析においては、それに用いる交通流シミュレーションモデル、すなわち解析に用いる計算方法と条件設定のためのデータベース、が解析結果を大きく左右するが、その基礎となるデータは実験や現地調査に基づいて決められたものばかりではないケースが多い。

これを確認することは一般に容易ではないが、ひとつの解決方法は、公的に認められた検証方法によって検証された交通流シミュレーションコードを採用することである。交通工学研究会は広く社会に用いられている交通流シミュレーションの基本検証に関わる標準検証プロセスマニュアルを公表している<sup>38)</sup>。本標準検証マニュアルは、まだドラフト段階で、整備が継続されているところであるが、既に国内やオーストラリアにおいてこれに基づいてコード検証を行った交通流シミュレーションコードがいくつか存在している。

また、洪水やハリケーンにおける避難ではさらに多数の交通流シミュレーションコードの利用が研究され、文献も非常に多い。今後、一般災害における経験や研究、防災訓練に

おける実績を詳細に調査し、ベースとなる情報や知見を収集し、取入れて行くことが重要と思われる。

一方、原子力発電所の ETE 評価では、一般災害における避難にはない特性を踏まえて交通流シミュレーションを考える必要があり、解析モデルの選択は適用する地域条件、道路網、移動手段の違いを考慮する必要があると考えられる。特に、避難に自家用車を用いる米国と同じ手法がバスを利用する我が国の避難で適用できるかどうかについては十分な検討が必要であると思われる。

また、交通流シミュレーションに必要となる入力データ情報を用意する労力と解析を導入することによって得られる精度向上によるメリットとのバランスを考える必要もあると考えられる。入力データ準備のために大規模な交通調査等を必要とするなら、むしろ単純計算で安全側に余裕を確保すれば十分という地域もあると思われる。

一方、前述したように、バスで避難しなければならないにもかかわらず自分の車を使って避難してしまうケースや、避難対象区域でないにもかかわらず自家用車で自主的避難を始めてしまうケースを想定すると、交通流シミュレーションによって事前評価を行い、本来の避難プロセスへの影響を評価し、適切な交通規制を検討しておく必要がある。

解析モデルの選択については多くの検討要素があり、今回の調査検討ではまとめに至らなかった。そのため、移送段階の時間の実践的な計算手法に関する調査検討が今後の課題として残っている。

#### 4.3.2 移送段階の時間に関する国内の知見

避難の移送段階に関する国内の公開文献はそれほど多くない。それは、一般災害でも、米国のように広大な平野が少ないので大規模な洪水は発生しにくいこと、地震災害は多いが、避難は地震発生後に行われるため、比較的広い範囲の住民全員をそっくりある程度離れた特定の地点に移動させるということがなく、比較的近い距離で分散して避難させることから、何台ものバスあるいは自家用車を使って移動するというイベントプロセスがほとんど必要ないためである。

しかしながら、避難の移送段階に関する国内の文献として、北海道有珠山の噴火の事例と新潟県柏崎市の原子力災害時避難誘導マニュアル<sup>39)</sup>については、移送段階に係わる重要な知見を含んでいると思われるので、ここで紹介しておく。

##### (1) 北海道有珠山の噴火における事例

2000年3月31日に発生した北海道有珠山噴火においては、噴火活動の予知が行われ、的中したこと、またそれに基づいて噴火前から住民避難が実施され、1人の犠牲者も出ることなく約1,6000人の住民避難が実施されたことから、防災対応の好例として海外でも注目された<sup>40)</sup>。

有珠山噴火における住民避難に関して、ETEの観点から避難に要した時間、特に移送段階の所要時間についてまとめられた公開資料は今回調査の範囲ではなかった。しかし、

定性的ではあるが、以下のような知見が報告されている。

- ① 事前の噴火予知にもとづき“自主避難”を呼びかける広報がなされた段階で、要援護者がいる世帯がまず避難した。避難勧告の段階で残りの世帯が避難し始めた。そのため、避難指示の発出段階では、壮瞥町で12%、伊達市で7%の住民しか残っておらず、避難対象地区の住民の大半が避難完了の状態であった<sup>41)</sup>。このことが、この噴火災害において避難が非常に円活に実施できた最大の理由であると考えられる。
- ② 避難先選定について、壮瞥町と伊達市は急遽被害の恐れのない避難場所を新たに選定して、住民に広報を行った。それに対して、虻田町は地域防災計画上の避難場所を避難先として選定した。その後、有珠山噴火の危険区域を予想したハザードマップの見直しが行われ、虻田町が当初では選定した避難場所が火山(大有珠)から5kmほどであったため、火砕流危険区域内に入ってしまうこととなった。そのため、この避難場所は廃止され、他の避難場所が改めて選定され、住民はそこに移動した。しかしながら、噴火後、この新しい避難場所も廃止、変更しなければならなくなり、住民は3日間毎日異なる避難所へ移動しなければならないこととなった<sup>41,42)</sup>。この大きな原因のひとつは、虻田町を含め周辺地方自治体の地域防災計画では隣接市町村に及ぶ避難が想定されていなかったためとされている。
- ③ 避難住民は一部の比較的場所が分かりやすい避難所に集中するという状況があった。<sup>42)</sup>
- ④ 避難先として、地方公共団体が指定した避難所以外に親兄弟、親戚あるいは知人宅などの私的な避難先に避難した住民がかなりの割合で存在する。しかし、公的、私的に係わらず、避難した住民に共通した傾向として、火山(大有珠)から10km以上離れた場所まで避難した人が過半数であった。<sup>41)</sup>
- ⑤ 長万部町と八雲町は急遽3,000人の避難住民受入れの要請を受け、準備したにもかかわらず、結果的に両町の避難所へ避難した人は200名弱にすぎず、用意された6,000人分の食料の多くが廃棄された<sup>42)</sup>。
- ⑥ 過去の雲仙普賢岳噴火の火砕流災害の教訓から、平常時からハザードマップによる事前対策について準備がなされていた。また、住民に対しても、ハザードマップについて勉強しておく必要性について岡村前虻田町長が啓蒙運動を行っていた<sup>43)</sup>。

以上の有珠山噴火における住民避難に関する報告から、避難の住民移送段階に関連して、以下のことが分かる。

- ① 予防的に避難を行うことで、緊急事態発生後に行うよりも避難の実施に伴うリスクを低減できる可能性がある。特に要援護者に関しては早い段階の避難が有効である。

- ② 居住地区と避難所を1対1に対応させ、住民に提示されていないと住民に混乱が生じ、特定の避難所への集中や極端な偏りが生じる。バスで移送する場合は、避難先をコントロールできるという点で有利であるが、これは避難対象住民が自家用車で勝手な避難を始めないということが前提である。混乱の未然防止という観点から、平常時から住民に自分の避難先施設を周知しておくことが必要である。
- ③ 平常時に避難先について候補施設の段階までしか定めず、実際の緊急事態になった時点で選定する方法では、避難住民の割振りなど、行政側で迅速に対応できなく傾向がある。
- ④ 避難先選定について、どのような状況変化があっても、あらかじめ計画していた避難先の割当てを変更する必要がないように、避難先は十分余裕を持った地点を選定すべきである。原子力緊急事態は火山噴火や地震と比較すると、被害の範囲は十分予測できている。すなわち、我が国では防災指針 **EPZ** がそれである。現在の避難施設の選定条件に対して、この防災指針 **EPZ** の外側であるという条件を付加することによって、避難完了後に風向など気象条件や事故の進展(悪化)がどのように変化しても、最初の避難所を変更しなければならないような可能性はほとんどない。
- ⑤ 防災指針 **EPZ**、たとえば周囲 **10km**、の外側に避難所を設定しても、(距離が大きいうことが)それほど大きな障害とはならない可能性がある。実際、前述したように、有珠山の噴火では、地方公共団体の避難所及び私的な避難先に避難した住民の過半数が **10km** 以上離れた場所まで移動している。

## (2) 新潟県柏崎市の原子力災害時避難誘導マニュアル

今回の調査の中で、我が国における原子力総合防災訓練等で実施した住民避難訓練の結果を基に、避難の移送段階に関する所要時間について記載された数少ない公開事例として新潟県柏崎市が2006年に作成した原子力災害時避難誘導マニュアルがある<sup>39)</sup>。

柏崎市は、柏崎刈羽原子力発電所の周囲 **2km** を最重点地域として避難等防護対策の準備を強化している。柏崎市は、この最重点地域に関しては、地元の「柏崎タクシー」所有のバスだけで避難の対応が可能であることを確認している。また、同時にストレッチャー及び車椅子対応車両の保有状況についても把握している。

柏崎市の大湊地区及び荒浜地区における、この最重点地域となる範囲について住民避難に要する時間を以下のように試算している。

### ① 試算の条件

- ・住民は全て在宅であるとし、事業所は含めていない。(要援護者は別途搬送)
- ・移送手段は、市のマイクロバス及び柏崎タクシー所有のバス
- ・バスの調達に要する時間は考慮しない。
- ・避難経路において渋滞や障害は仮定しない。



・前述の第 4.2 節で述べた避難準備段階の時間評価に係わる事項として、以下の条件を仮定している。

- i) 一時集合場所への集合時間は、荒浜地区が最長で 30 分、大湊地区が最長で 15 分。
- ii) 乗車時間は 1 台当たり 5 分。
- iii) 避難住民のチェック作業は乗車時間や集合時間に含まれる。

## ② 試算の結果

- ・避難対象住民数は、大湊地区で 66 人、荒浜地区で 550 人。
- ・大湊地区では、市のマイクロバス 2 台（28 人乗り及び 25 人乗り）及び市公用車を用いると、大湊集会場（一時集合場所）から石地コミュニティーセンター（避難所）までの移送に 20 分を要し、計 50 分で避難完了。
- ・荒浜地区では、柏崎タクシー所有バス（50 人乗り）11 台を用いると、広報センターあるいは荒浜コミュニティーセンターを一時集合場所として鯨波コミュニティーセンター（避難所）までの移送にやはり 20 分を要し、計 90 分で避難完了。

上記の柏崎市の試算は最も単純なモデルによる ETE であり、市の避難誘導マニュアルには、車両の手配状況、道路の混雑状況、住民の在宅状況などによって上記の所要時間は変わってくることを、また、バスで避難できない、あるいは病院や施設へ避難しなければならない要援護者等については、予め把握し、別途車両を用意するなどの対応を行うとしている。

NUREG-0654<sup>7)</sup>及び Goldblatt<sup>34)</sup>は、昼夜、平日／週末、季節、気象条件を考慮し、それぞれの条件を組合わせたケーススタディとして ETE を行う必要があること、及び要援護者等については別途適切なシミュレーション条件で ETE を行う必要があること指摘している。上記の柏崎市の取組みはこれに適合するものではないが、我が国において地方公共団体が原子力緊急時における避難に要する時間について検討を行った初めてのケースとして評価できるものである。

## 4.4 避難完了段階の時間評価

ETE の最後の評価項目として NUREG-0654 の付属書 4 では、避難完了を確認するために要する時間を挙げている。避難完了の確認手段は、飛行機や車両による目視確認や確認電話が例として記載されている。また、Urbanik は、避難完了の確認プロセスは重要であると指摘している<sup>28)</sup>。

2004 年に実施した米国調査<sup>22)</sup>の中で、原子力エネルギー協会（NEI）の緊急時対応の責任者は、避難完了の確認については特別なことは実施せず、サイレンや報道を繰り返すこと、及び交通規制といった基本的な活動だけであるという説明をしている。しかし、同調査では、緊急時広報の手段として、警察等により広報車が使用されることもあること、また、避難せずに残っていることによって救助者が危険になる場合は、強制的に避難が行

われることもあるということも別途確認していることから<sup>22)</sup>、地方政府等や警察側では、やはり避難完了の確認は実施しているものと考えられる。

我が国の避難は、住民各人の責任で行うのではなく、地方公共団体がバスを手配し、地方公共団体の責任のもとに避難住民の移送が行われる。したがって、避難完了の確認プロセスは、我が国の避難では必須の要素であり、実際、各地の地域防災計画等には避難完了の確認が実施事項のひとつとして記載されている。

しかし、防災訓練等において、この避難完了の確認プロセスが（省略を伴わない）適切な形で行われた例は極めて少なく、このプロセスに要した時間が記録されているケースは、一例を除くと、今回の調査では見出せなかった。

今回の調査の中で、この唯一の例外事例は前出の新潟県柏崎市の原子力災害時避難誘導マニュアルの記述である<sup>39)</sup>。柏崎市の避難完了の確認プロセスは、現状はまだ地区毎に若干の相違があるが、荒浜地区では以下のように行われる。

- ① 各世帯では避難済の目印として白タオルを玄関等に表示し、「班」単位でまとまって一時集合場所に向かう。
- ② 一時集合場所において区長が避難状況を取りまとめ、町内会長に報告する。町内会長が町内の避難状況を取りまとめる。
- ③ 消防団等は、予め分担する区域を決め、避難済の目印である白タオルを全戸について確認する。目印のない世帯は玄関を開けて避難の有無を確認する。
- ④ 避難済の確認結果は町内会長及び集合場所責任者に伝えられる。

避難をする際に玄関に白いタオルを掲げる方法は、安否確認を容易にするために考えられたものであるが、白タオル表示したところは、消防団や市の職員が後で避難の確認に回るときにその箇所は回らないでいいということで安否確認がかなり省略され、訓練で非常に良い成果を上げた。避難確認に要する時間に関しては、2006年9月の原子力防災訓練における実績として、上記方法により荒浜地区5・6区46世帯について地元消防団2名で約10分という結果を得ており、これを基に45世帯確認の所要時間を15分と仮定し、以下のような条件で試算評価すると、190世帯では30分程度で確認が可能としている。

荒浜地区の最重点地域世帯数：約190世帯

確認班数：2班（最低の班数）ただし、2人／班

また、規模の小さい地区、例えば大湊地区では約20世帯であり、仮に1班2名で各戸を回って確認しても10分程度で確認可能であることから、消防団等が戸毎確認する方法で十分対応できるとしている。

上記の柏崎市の例は地域で発案された好例であり、実践的な避難完了の確認方法のひとつとして評価できる。広く国内各地の地方公共団体において検討されるべき事例と思われる。しかし、また、この柏崎市の方法は、平常時における住民への周知徹底がキーポイントであることも強調される必要がある。

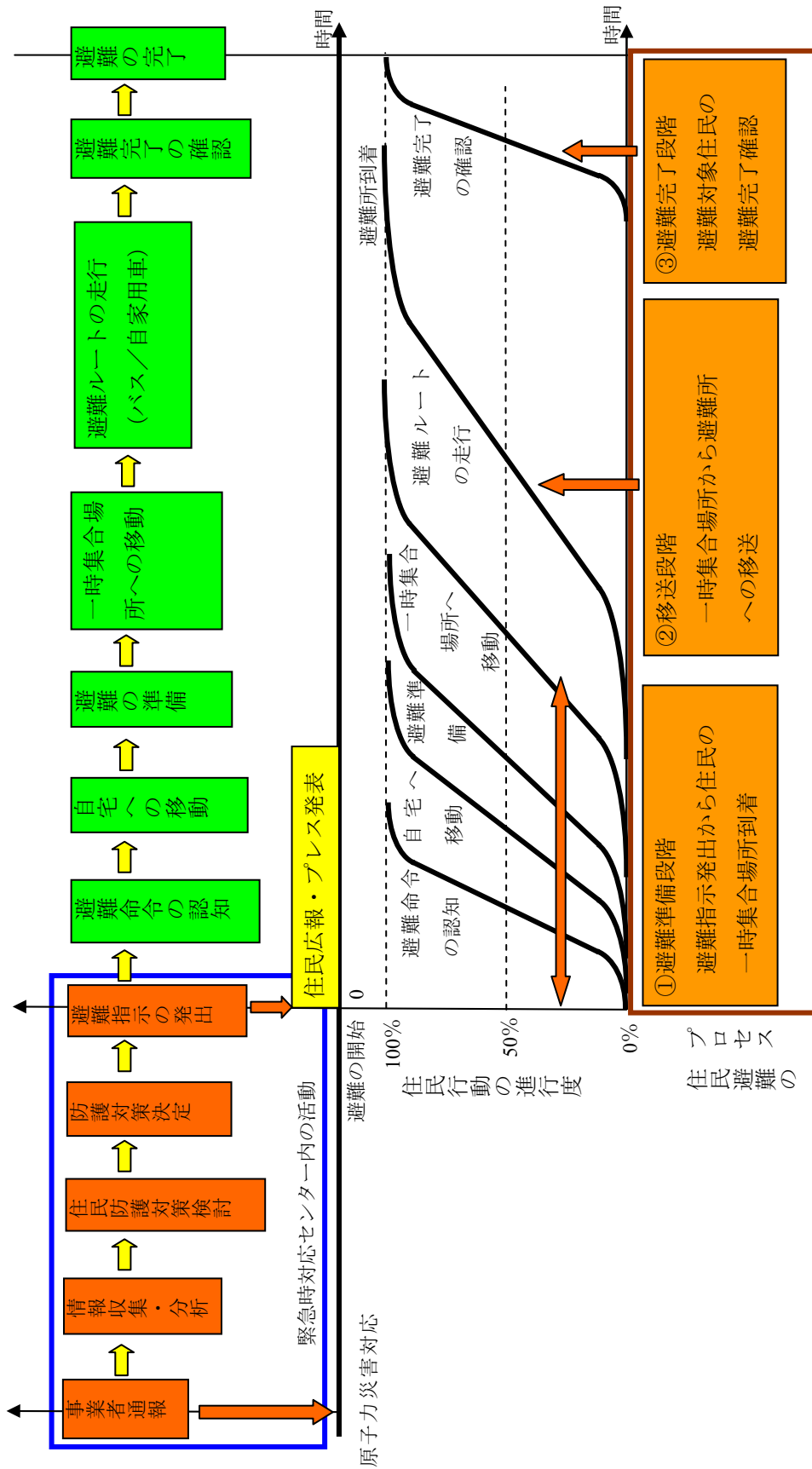


図 13 我が国の防護対策活動の流れと避難プロセスの模式図

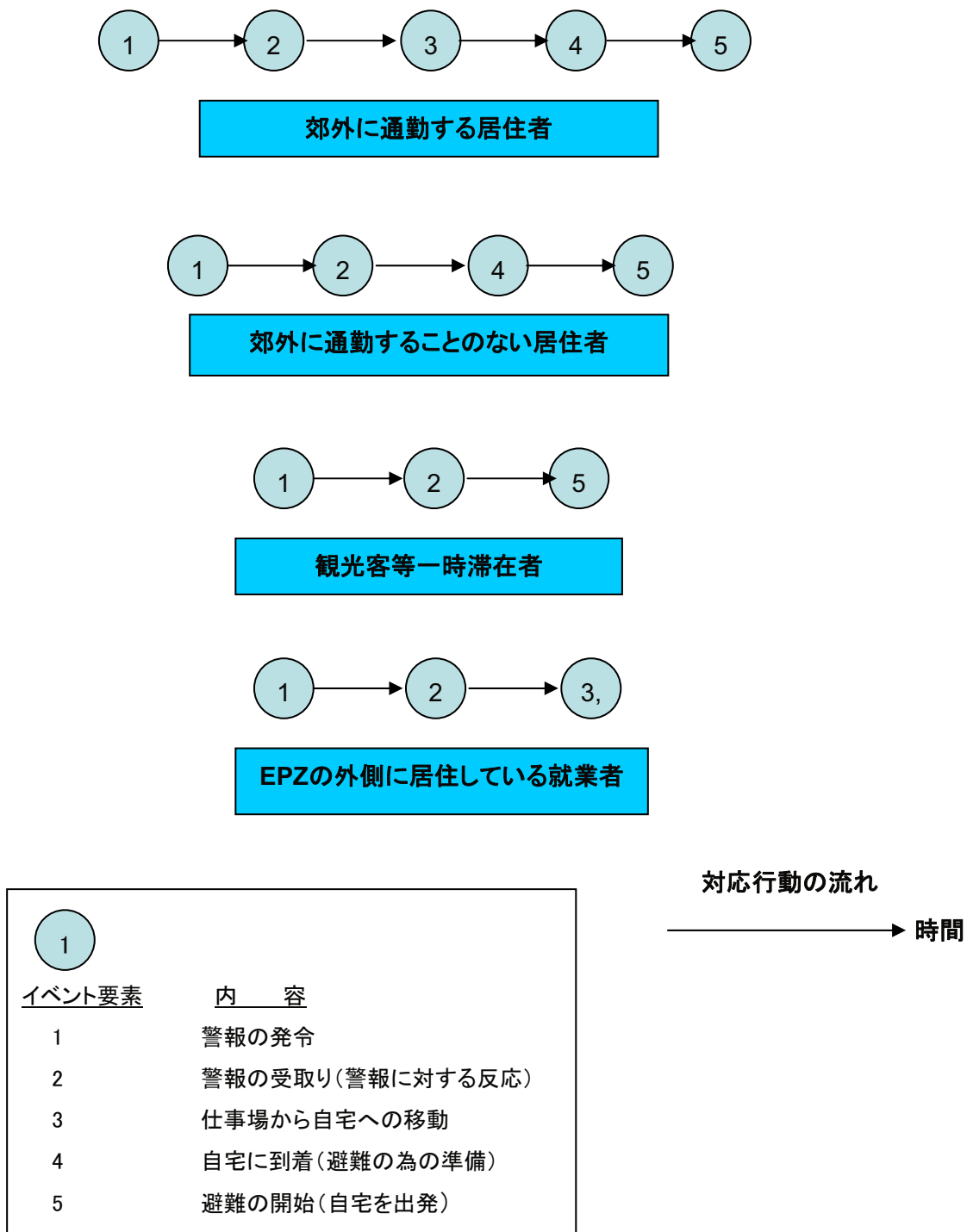


図 14 避難準備期間における住民の生活様式と避難行動イベント要素 <sup>29)</sup>

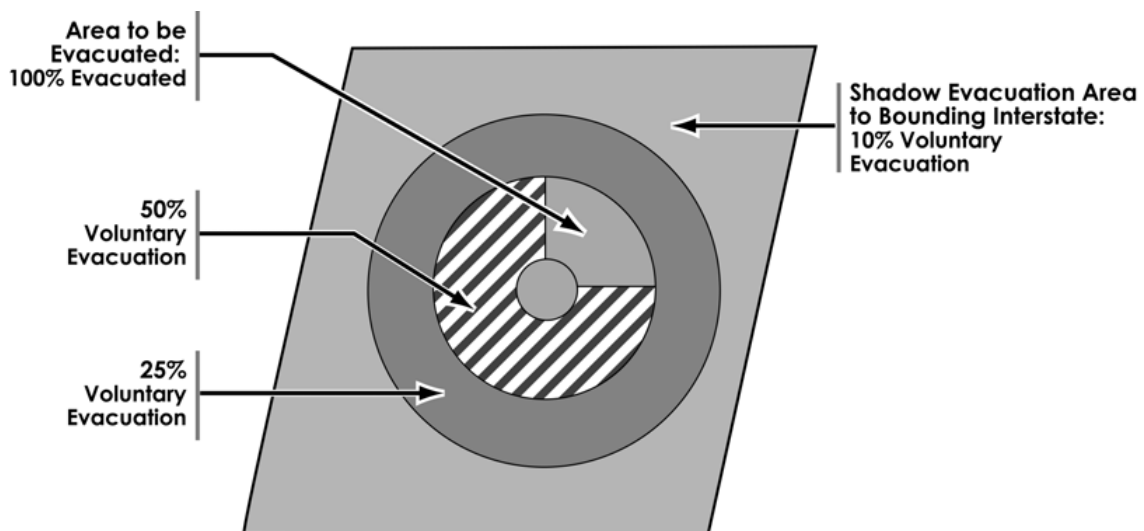


図 15 Goldblatt らによる避難時の住民行動のモデル  
〔出典 : James Lee Witt Associates (2003) <sup>23)</sup>〕

## 5. 日本における原子力緊急時の住民避難計画の整備状況

我が国における住民避難に関する基礎情報は、多くの場合、地域防災計画の資料編に記載されている。そこには、主に各行政地区の住民人口と一時集合場所施設、避難先（避難所）の候補施設、避難手段としての車両の調達先及びその保有台数が記載されている。

しかし、避難先（避難所）については候補施設が列挙されているに過ぎず、各地区に対して複数の施設があるため、現状の計画では事前に住民に対して周知しても、混乱を避けることができず、むしろ事前の周知は適切ではない。

また、第 4.2 節で述べたように、避難対象地区の大きさとバスの必要調達台数の関係が整理されていないため、バス調達の可否判断が遅れる可能性がある。

そのような中で、いくつかの道県においては、事前に避難計画を検討、作成している。本調査で確認できた範囲では、以下の 4 道県が事前に避難計画を検討、作成している。

- ①北海道：泊発電所原子力防災会議協議会が地域防災計画の「退避等措置計画編」を作成<sup>44)</sup>。
- ②新潟県：県が原子力災害避難基本計画作成、各町が具体的な資料編を作成<sup>45)</sup>。
- ③石川県：県が退避等措置計画要綱作成、各町が具体的な措置計画と資料編を作成<sup>46,47)</sup>。
- ④愛媛県：各町が町の原子力防災計画の中で、具体的な計画と資料編を作成<sup>48)</sup>。

また、佐賀県、宮城県については、県が作成した地域防災計画に“避難等は退避等措置計画に基づき実施する”との記載があり、市町が退避等措置計画作成することとなっている。

上記、北海道、新潟、石川、愛媛の各道県の退避等措置計画等は、記載事項や内容にそれぞれ特色があるが、いずれも以下が検討され、一覧表に記載されている点で共通している。

- a) 発電所からの方位・距離で整理した地区・人口分布表、
- b) 地区別避難先（及び）・避難経路・バスの必要調達台数

例として、表 4 に石川県志賀町の退避等措置計画に記載されているコンクリート屋内退避及び避難施設の一覧表の一部を示す<sup>40)</sup>。この一覧表は、避難計画に関して住民に事前に周知しておくべき情報をほぼすべて網羅している。多くの地域防災計画では、地区別に人口を整理し、発電所からの方位・距離を付加する形の一覧表が添付されているが、発電所からの方位・距離で整理した上記の表は避難計画の策定の観点からは、非常に実用的であり、模範的な例として評価できるものである。

また、北海道の泊発電所原子力防災会議協議会が作成した「退避等措置計画編」には避難道路の状況として、延長、最小幅員、橋梁の情報、1 時間当たりの平均とピークの交通量、及びピークとなる時刻が表としてまとめられている点は特筆すべきであろう<sup>44)</sup>。

第 1 章において、IAEA の PAZ の概念は、単に防護対策の地理的な範囲の問題だけではなく、その実施に係わる”時間”も問題となっている点を指摘した。上で紹介した 4 道県においては、住民の居住区と避難先、及びそれを結ぶ避難ルートという 2 次元的な情報はよく整備されている。しかし、防護対策の実施に要する”時間”に関する検討は、第 4 章において述べた新潟県柏崎市の原子力災害時避難誘導マニュアルを除くと、ほとんど行われていないのが実情である。

柏崎市の避難誘導マニュアルは、今後いっそうの充実が期待される。また、各地域の避難マニュアル整備の雛形として、その取組みの方向性は高く評価できるものである。このマニュアルをベースに各地域の避難マニュアル整備が促進されることが強く望まれる。

IAEA の PAZ を念頭においた住民避難計画あるいは避難マニュアルの整備は、原子力緊急時対応に限らず、他の災害対応準備の観点からも重要である。例えば、武力攻撃事態等における国民の保護のための措置に関する法律（平成 16 年 9 月 17 日施行）の第 61 条（避難実施要領）には、「市町村長は、当該市町村の住民に対し避難の指示があったときは、・・・（中略）・・・、直ちに、避難実施要領を定めなければならない。」とされている。さらに、国民の保護に関する基本指針の 27 頁には、「市（町村）は、関係機関と緊密な意見交換を行いつつ、消防庁が作成するマニュアルを参考に、複数の避難実施要領のパターンをあらかじめ作成しておくよう努めるものとする。」と記載されており、それを受けて総務省消防庁は 2006 年 3 月に「避難実施要領のパターン作成に当たって（避難マニュアル）」を作成し、市町村に提示している。

IAEA の PAZ、あるいは米国の避難計画についての考え方は、これらの住民避難計画あるいは避難マニュアルの整備にも資することができるものと思われる。

表4 石川県志賀町のコンクリート屋内退避及び避難施設の一覧表(部分) [出典: 志賀町退避等措置計画 40]

地区名	距離(km)	集落名	世帯数(世帯)	人口(人)	コンクリート屋内退避			避難			避難				
					施設名	所在地	収容人員(人)	施設名	所在地	集合人員(人)	避難方法	避難経路	施設名	所在地	収容人員(人)
志加南	1	赤住	169	542	赤住公民館	赤住 8字23	200	赤住公民館	赤住 8字23	200	バス4台	○主要地方道 志賀富来線	○主要地方道 志賀富来線	災害対策本部長が決定した避難先市町村の避難所	
					はまなす園 デイサービスセンター	赤住 4-1	180 2,051	はまなす園 デイサービスセンター	赤住 4-1	180	バス4台	町道 志賀の郷線	町道 志賀の郷線		
					北電	赤住 07-1 杜宅 赤住 09-1	162 3,446			162	バス4台	町道 志賀の郷線	町道 志賀の郷線		
					2 百浦	志加浦小学校 上野 =82-1 [百浦集会所に集合]	366 1,028 1,732	百浦集会所	百浦 42-2	366	バス8台	国道249号線	国道249号線		
志加南	3	小浦	29	98	志加浦小学校 上野 =82-1		小浦集会所	小浦 77-2	98	バス2台	○主要地方道 志賀富来線	○主要地方道 志賀富来線			
					4 大津		115	大津集会所	大津 460	115	バス3台	町道 志賀の郷線		町道 志賀の郷線	
					上野		449	志加浦小学校 上野 =82-1		449	バス9台	町道 志賀の郷線		町道 志賀の郷線	
志加東	5	安部屋営団 志賀の郷住宅	25	84	志賀町総合体 育館	町 4-1	157	志賀町総合体 育館	町 4-1	157	バス4台	○主要地方道 志賀富来線	○主要地方道 志賀富来線		
					志賀の郷、ロイヤルグレイ	94人			2,558						
					町		236	高浜中学校 (武道館除く)	高浜町 369	236	バス5台	国道249号線	国道249号線		
志加東	6	安部屋	50	164	高浜1区~6区及び11区		512 2,416	町集会所	町 31-13	236	バス5台	県道 松木代田線	県道 松木代田線		
					川尻		112	安部屋集会所	安部屋 4117	164	バス4台				
					1	はまなす園 デイサービスセンター	赤住 4-1	100	はまなす園 デイサービスセンター	赤住 4-1	100	バスその 他による	○主要地方道 志賀富来線		○主要地方道 志賀富来線
志加東	4	ロイヤルンティ	21	40	志賀町総合 体 育館	町 4-1	40	志賀町総合 体 育館	町 4-1	40	バス1台	国道249号線	国道249号線		
					安部屋営団、志賀の郷住宅、 志賀の郷	211人			2,558						



## 6. 原子力緊急時の住民避難計画の策定に関する課題

前章まで、IAEAのPAZ概念を我が国の原子力緊急時における防災対策に導入する場合を想定し、原子力緊急時の住民避難に関する要点及び課題について、主に米国の避難計画に関する考え方を中心に述べてきた。

米国の原子力緊急時対応計画の中には「即時避難」が想定されているが、第3.2節に述べたように、米国の原子力緊急時対応計画の住民への周知内容に、「即時避難」は一切言及されていない。それは、米国の原子力緊急時の避難対策の考え方が“即時”であるか、否かに係わらず対応できるからである。

今回の調査で、PAZ概念や「即時避難」といった原子力緊急時の防護対策における国際的な方向に対して、我が国がそれを導入するか否かに係わらず、“即時”に限らない防護対策の実施においても、より混乱を防止し、リスクをより小さくすると観点から、この国際的な避難計画の考え方が有効であるということが分かった。

本章では、今回の調査で得られた知見をもとに、我が国の原子力緊急時の住民避難計画策定に係わる課題を以下にまとめた。

### (1) 避難所は防災指針EPZの外の施設を選定する必要があること。

第3.2.3項で述べたように、米国の場合、避難先施設の選定は10マイルEPZの外側の施設でなければならないという規定がある。これによって、事故発生時に、どのような気象条件であっても、あらかじめ計画していた避難先の割当てを変更する必要がない。

我が国においては、避難所は事故の状況に基づいて設定された防護対策区域の外側に設定し、防災訓練等の記録を見る限り、防災指針EPZの範囲内にある施設が選定されているケースがほとんどである。

実際の事故時において、防護対策がある程度の期間継続するような状況では、風向など気象条件の変化や事故の進展(悪化)によっては、住民の避難している施設を変更しなければならない可能性も否定できない。第4.3.2項で述べたように、北海道有珠山の噴火では、噴火状況の変化によって、3日間毎日避難先施設を変更し、避難住民はその度に移動を強いられた例が一部地域で発生している。火山噴火は状況の変化の予測が困難であるためやむをえない面があるが、原子力緊急時はある程度蓋然性があり、防災指針EPZが設定されている。

有珠山の噴火でも、住民の過半数が10km以上離れた場所まで移動していることから考えても、平常時から適切な準備を行ってれば、避難所を遠くに設置することによる混乱やリスクは十分防止できるものと考えられる。

- (2) 居住地区に対してひとつの避難所を割当て、事前に住民に提示する必要があること。

我が国においては、平常時において避難所の候補施設がリストアップされており、事故が発生し、防護対策エリアが決定された後に候補施設の中から避難先を選定する。

これは、避難における移動を最適化し、より合理的に実施できる点で有利であるが、防護対策エリアは実際に原子力緊急事態が発生しないと設定できないため、事前に住民に対して各自の避難先を周知することはできない。その代わり、我が国では、住民が自家用車で避難するのではなく、地方公共団体が用意するバスで避難するので、住民があらかじめ避難先を知る必要はないのだという考えもあるであろう。

バスで移送する場合は避難先をコントロールできるという点で有利であるが、しかし事前に住民に避難先を周知しなくても避難が混乱なく実施できるという見通しは、避難対象住民が自家用車で勝手な避難をしないということが前提である。避難対象住民がバスに乗らずに自家用車で避難したり、避難対象ではない住民による自主的避難が発生した場合、有珠山の噴火の例のように特定の避難所への集中や極端な偏りが生じ、住民に混乱が生じる可能性が高い（第 4.3.2 項参照）。

混乱の防止という観点から、避難先への移送にバスを使用する現在の方法でも、あらかじめ居住地区に対して、現在の候補施設から主たる避難所を 1 箇所割当て、平常時から住民に各自の避難先施設を周知しておくことが必要と考えられる。また、残っている他の候補施設については、主たる避難先施設が万一使用できないときの代替施設として位置付け、第 1、第 2 と優先順位を明確にしておく必要がある。

さらに、第 3.2.2 項で述べたように、学校等の避難先についても、同様な対応が必要である。学校や大きな人数を抱える施設は、一般住民の避難先とは別に避難先を設定し、家族は避難後に会う、あるいは連絡するという米国の考え方は非常に合理的である。事前に住民に周知される「学校に問合せをしないこと」、「学校に子供を迎えに行ってはならないこと」という注意メッセージは、混乱の防止という観点から我が国でも有益であると思われる。

- (3) 住民の行動に係わる防護対策等実施計画は住民に確実に、かつ、分かりやすく提供されること。

第 3.2 節で述べたように、“即時”に防護対策を実施しなければならない事態では、特に避難等の住民自身が行動しなければならない対策については、住民一人一人の理解と協力が必要である。その前提となるのは、防護対策の具体的な実施計画、あるいは実施要領の内容を事前に住民に周知徹底しておくことである。このことは、もちろん、特に“即時”の防護対策に限ったことではなく、一般的な緊急時の防護対策においても、より円滑に、安全に実施する上で重要である。

現在、地方公共団体は、さまざまな広報にインターネット上の HP を活用することが一般的となっている。ロックランド郡のように GIS 技術を活用することも非常に有

効であるが、まずは米国の配布用ブックレットのように、具体的な避難方法等を、図を用いるなどによって分かり易く提供することが肝要であると思われる。

また、同時に、カルバートクリフス原子力発電所の観光客向けホテル用リーフレットのように一時滞在者への対応や要援助者へ周知するための対応も重要である。

(4) 避難用バスの調達に要する時間を確認しておくこと。

第 4.2 節で述べたように、避難住民をバスによって移送する我が国では、バスの調達に要する時間は現実的な緊急時対応計画を考える上で不可欠である。現状ではある程度のバスを確保できる地域も少なくないと考えられるが、PAZに係わる「即時避難」を考えたときには、第 4.3.2 項で紹介した新潟県柏崎市の原子力災害時避難誘導マニュアルにあるように、最低限当該原子力施設の周囲 2km の住民すべてを一回の輸送で移送できるだけのバスを地元で調達できることが求められるであろうと思われる。

必要な避難用のバスが、住民が一時集合場所に参集する前に調達できなければ、住民は一時集合場所に待たされることになるが、これは住民を、自己の判断で自家用車を使った避難所への移動を開始する方向に動かしてしまう恐れがある。これがさらに避難の実施を困難にさせることは第 4.3.1 項で述べたとおりである。

各地方公共団体において、避難対象地区の大きさと住民数、バスの必要台数を整理し、その調達に要する時間について、早急に見通しを得ておくことが必要である。

(5) 避難対象外地域からの自主的避難や影の避難等の発生を予測しておくこと。

第 4.3.1 項で述べた自主的避難や影の避難を避難計画策定時に予測し、考慮する必要は、前出の ETE に関するガイド NUREG/CR-6863<sup>21)</sup> で指摘されている。既に述べたように、Goldblatt らによるベルモント・ヤンキー及びインディアンポイント原子力発電所の ETE 再評価では、住民調査に基づくデータから第 4.3.1 項の図 15 に示すようなモデルを使い、交通流シミュレーションコードを駆使して自主的避難や影の避難の影響を評価している<sup>23,34)</sup>。

我が国においては、避難対象でない者が自家用車を使って避難してしまうようなことはないであろうか。また、避難対象者が避難用のバスに乗らず、自家用車で避難してしまうようなことはないであろうか。我が国においても、特にマスコミ報道や“うわさ”による不安の増加や避難用バスの調達が思うようにできないようなケースでは、ある程度の自主的避難や影の避難、あるいはバスを使わない勝手な避難の発生は避けられないものと思われる。避難計画の作成において、この自主的避難や影の避難等の発生を考慮しなければ、避難に要する時間は過小評価され、現実の原子力緊急時において放射性物質の放出前に避難完了できないという防護対策上最悪の事態が発生する恐れがある。

自主的避難や影の避難について、NUREG/CR-6863 及び Urbanik は、適切な交通

規制によってこれらの車両を遮断し、避難ルートを確保することができる可能性を指摘している<sup>21, 29)</sup>。

自主的避難や影の避難等が発生したとき、バスによる本来の避難住民の移送がどの程度妨げられるか、どのような交通規制を行えばこの影響を緩和できるかという問題は、各地域の道路事情によって異なる。さらに、自主的避難や影の避難等の発生する規模は、周辺住民の意識や感情の問題に係わっているため、評価が非常に困難である。これには、NUREG/CR-6863では各地域の防災計画においてケースバイケース的に考慮されるべきであるという指摘があるだけであるが<sup>24)</sup>、米国で実施されているように、周辺住民の意識調査がひとつの解決方策である。同時に、防止策として、住民の不安を取り除くための緊急時広報や、避難対象地域以外は避難しなくても安全であるということを周辺住民にしっかり理解してもらう防災関係者の努力が重要である。

(6) 避難実施計画に基づく避難時間評価（ETE）を事前に実施しておくこと。

“避難に要する時間”は防護対策の意思決定上、非常に大きな要素である。多数の公衆を、放射性物質の放出前に避難させられるのか否かという問題は、明らかに避難とするか、一時屋内退避とするかの判断の分かれ目である。したがって、どのような手法を用いるにしても、住民避難計画の策定において、ETEは必須項目である。

第5章で述べたように、一部の道県においては、事前に避難計画の作成がなされ、避難に関わる基礎的な情報が実用的な形で整理されている。しかし、防護対策の実施に要する“時間”に関する検討は、新潟県柏崎市の一例のみであるというのが実情である。柏崎市の原子力災害時避難誘導マニュアルは、今後いつその充実が期待されるとともに、各地域の避難マニュアル整備の雛形として高く評価できるものである。

ただし、第4章で述べたように、“避難に要する時間”は、避難の範囲（すなわち、避難対象住民数）によって大きく変化するが、その中の人口は、昼夜、平日／週末、季節で大きく変化する。さらに、避難数だけではなく、気象条件、移送手段（避難用バスの調達台数）、避難所までの道路条件によっても大きく変化する。避難所までの道路条件に関しては、単に道のりだけではなく、道路の幅員やカーブ、路面状態が影響する。さらに、米国のように自家用車による避難ではなく、バスによって避難を行うとしても、交通規制の影響は大きく、さらに前述の自主的避難や影の避難等が発生すれば、バスによる避難といえども渋滞の影響を考慮しなければならない。米国のNUREG-0654等に従うならば、本来、ETEは、これらの条件ごとにケーススタディを行う必要がある。

ETEにおける交通流シミュレーション適用については十分な検討が必要であると思われる。米国では自家用車で避難させるため、非常に多数の車両が短時間に道路ネットワーク上に発生することから、必然的に交通流シミュレーションが必要になる。しかし、基本的にバスで避難させる我が国の場合、少なくとも人口密度や道路交通量

など、地域によって事情が異なることは容易に想像される。図 16 に日米の原子力緊急時における住民避難プロセスの違いを模式図で示す。

国内の地域特性の違いについては、例えば単純に、以下のように分類することができるであろう。

遠隔地型：

- ・人口が非常に少ない。
- ・周辺の道路網が単純。
- ・周辺道路の交通量が少なく、日常的に渋滞が発生することがない。

市街地型：

- ・人口が比較的多い（例えば、避難対象地区内の人口が 1 万人以上）。
- ・周辺の道路網が複雑。
- ・周辺道路の交通量が比較的多く、日常的に渋滞が発生する地点がある。

我が国で多数を占める遠隔地型の地域では、避難対象住民数が限られているため、交通規制下で防護対策区域及びその周囲の交通量が非常に制限された条件では、（例えば、第 4.3.2 項で紹介した新潟県柏崎市の原子力災害時避難誘導マニュアルに記載されているような）単純計算でも十分有効であるケースもあると考えられる。

一方、市街地型では、避難ルートを選択と交通規制の方法を最適化するために交通流シミュレーションを適用する方が有効である可能性がある。また、交通流シミュレーションの ETE への適用については、避難時間を把握しておくということのみならず、むしろバスを使うという現計画に関して各地域の実効性を評価するという面で重要な場合がある。

すなわち、

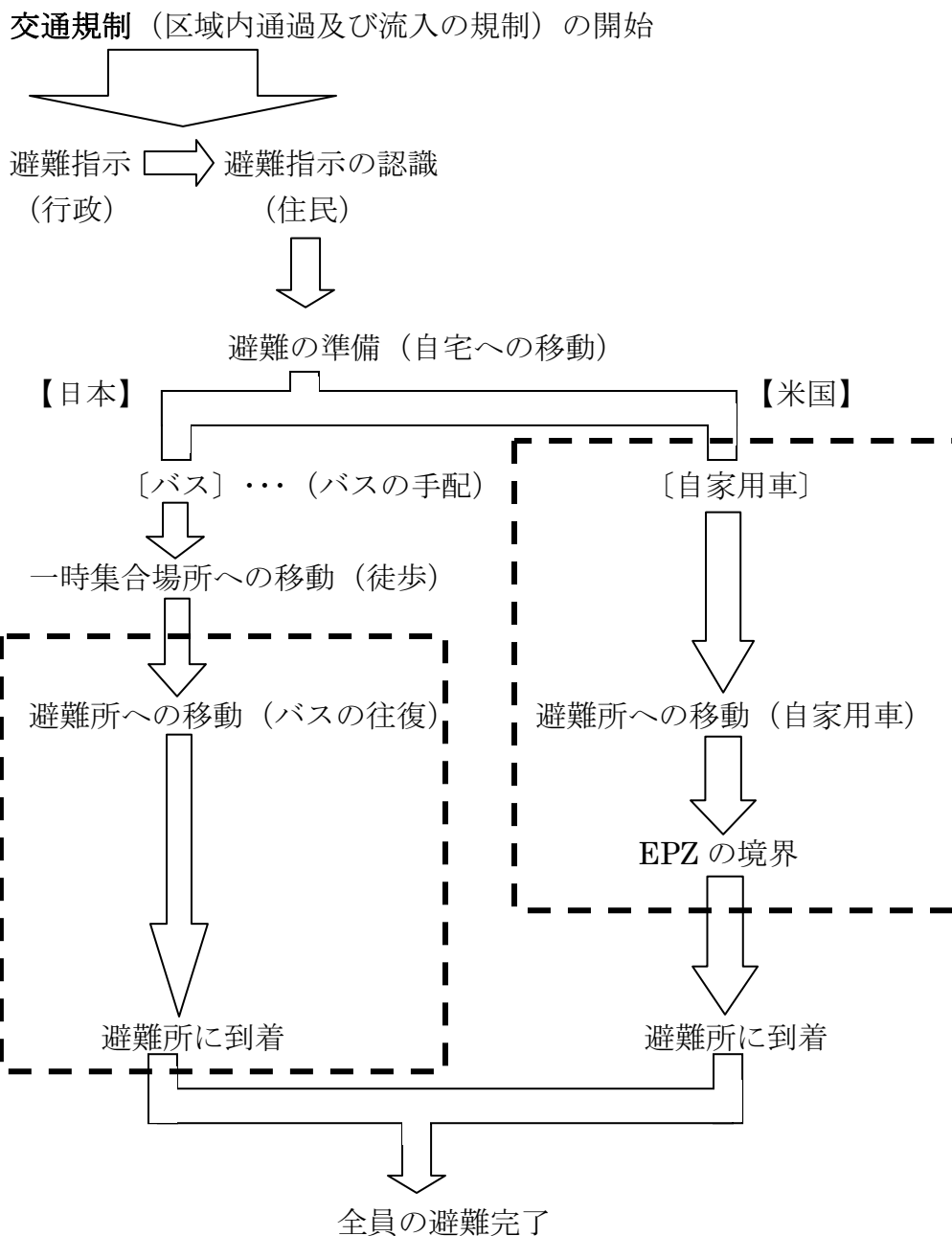
- ① 避難対象でない住民が自己の判断で避難すると、予定外の交通需要が発生する可能性は否定できない。バスの運行に対し、このような自主的避難や影の避難等の影響と合わせて評価し、交通規制に反映させる必要がある。
- ② 地域で調達できるバスの台数に余裕がない場合、ピストン輸送を行う、あるいは広域の支援によってバスを調達するという選択肢が考えられる。どちらがより迅速な避難を達成し得るか評価し、防災計画に反映させる必要がある。

第 4.3.1 項で指摘したように、交通流シミュレーション適用に当たっては、検証済みのシミュレーションコードを採用すべきであるということ、及びシミュレーションに必要となる入力データ情報を用意する労力とシミュレーションを導入することによって得られる精度向上のメリットとのバランスを考慮することが重要なポイントであると思われる。

ETE に関しては、第 4 章で述べたように、交通流シミュレーションでは評価できない、避難準備段階や避難完了段階におけるいくつかの重要な要素が存在する。また、NUREG/CR-6863 では、避難の実施の際、極端に時間を要した人々が小さくない割合

で必ず存在することを指摘し、事例として 90%が 4 時間以内に避難完了しているのに対し、10%の人々がそれよりも 2 時間も余計に時間を要したことを記している<sup>21)</sup>。さらに、NUREG/CR-6863 は、このような人々の割合を把握すること、及びその遅れの原因を突き止め、対処することの必要性を指摘している。

ETE の実施に当たっては、交通流シミュレーションによる評価だけでなく、避難プロセスにおける住民の歩行移動に関するデータをはじめ、火山や洪水、化学工場の事故など一般災害やビルからの避難等の事例、及びこれらに関して行われている多くの研究例の知見についてさらに調査し、反映していくことが今後の課題と考える。



交通流シミュレーションの適用範囲

図 16 日米の原子力緊急時における住民避難プロセスの違い

## 7. まとめ

IAEA の新安全要件及び指針における PAZ を我が国で導入する場合を想定したとき、原子力緊急時の住民避難に関して我が国が強化すべき要点及び課題について公開文献を中心に調査を実施した。

IAEA の PAZ の概念は、単に防護対策の地理的な範囲に関わる問題ではなく、その実施に要する”時間”が問題となる点が重要であり、「原子力施設周辺の適切な範囲の住民を数時間以内に避難させることができること」が主要課題になるものと考えられる。

本調査によって、IAEA の PAZ 概念や「即時避難」の導入といった国際的な動向に対して、我が国がそれを導入するか否かに係わらず、“即時”に限らない防護対策の実施においても、より混乱を防止し、リスクをより小さくするという観点から、米国で行われている避難計画の考え方や平常時における準備が有効であるということが分かった。

本調査で得られた知見をもとに、我が国の原子力緊急時の住民避難計画策定に関し、以下の課題が見出された。

- ① 避難所は防災指針 EPZ の外の施設を選定する必要があること。
- ② 避難所は居住地区に対して主たる施設 1 箇所を指定し、事前に住民に提示しておく必要があること。
- ③ 住民の行動に係わる防護対策等実施計画は住民に確実に、かつ、分かりやすく提供されること
- ④ 各地域において避難用バスの調達に要する時間を確認しておくこと。
- ⑤ EPZ 内外で避難の必要がないにもかかわらず自らの判断で避難してしまう自主的避難や“影の避難”，及び避難対象者が避難用バスを利用せずに自家用車を使って避難してしまう事態の発生を予測しておくこと。
- ⑥ あらかじめ避難に要する時間の評価（ETE）を行っておくこと。

ただし、⑥の ETE における評価手法については、以下の点が重要である。

- i) 避難にバスを利用する場合、必ずしも米国のように交通流シミュレーションが必要であるとは限らない。
- ii) 市街地では、避難ルートを選択と交通規制の方法について最適化するために交通流シミュレーションを適用する方が有効である可能性がある。
- iii) 検証済みの交通流シミュレーションコードを採用すべきである。
- iv) 交通流シミュレーションに必要な入力データ情報を用意する労力と ETE の精度向上のメリットとのバランスを考慮する必要がある。
- v) 一般災害を含む実際の避難経験や避難訓練の知見を反映することが有効である。

今回調査の範囲では、特に⑥に係わる交通流シミュレーション技術をはじめ、ETE の方法については全体概要を把握するに留まっている。交通流シミュレーションに関する計算モデルの選定や ETE に適用するための機能要件、さらに一般災害を含む実際の避難経験等に関する知見については、今後、さらに調査を継続することが必要である。



引用・参考文献

- [1] International Atomic Energy Agency, et al.: Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA Safety Requirements GS-R-2 (2002).
- [2] International Atomic Energy Agency, et al.: Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA Safety Guide GS-G-2.1 (2007).
- [3] 原子力安全委員会：原子力施設等の防災対策について，2007年5月
- [4] 原子力安全委員会 原子力施設等防災専門部会（第15回）会議資料（平成19年4月24日）(online),  
<<http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/sisetubo.htm>>
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY: Dangerous quantities of radioactive material (D-values), EPR-D-VALUES 2006 (2006).
- [6] U.S. Nuclear Regulatory Commission: RASCAL 3.0, Description of Model and Methods, NUREG-1741 (2001).
- [7] U.S. Nuclear Regulatory Commission: Criteria for Preparation and Evaluation of Radiological Emergency Response Plans and Preparedness in Support of Nuclear Plants; Criteria for Protective Action Recommendations for Severe Accidents, NUREG-0654/FEMA-REP-1, Rev. 1 (1980).
- [8] U.S. Nuclear Regulatory Commission: Criteria for Preparation and Evaluation of Radiological Emergency Response Plans and Preparedness in Support of Nuclear Plants, NUREG-0654/FEMA-REP-1, Rev. 1 Supplement 3 (1996).
- [9] Nuclear Safety Authority: Annual Report 2003 – Nuclear Safety and Radiation Protection in France – (2003)
- [10] Blayais原子力発電所に係わるAquitaine州のPlan Particulier d'Intervention (online),  
<[http://www.aquitaine.pref.gouv.fr/pages/actu/actu\\_dossiers/securite\\_civile/securite\\_civileDDRM\\_nucleaire.htm#top](http://www.aquitaine.pref.gouv.fr/pages/actu/actu_dossiers/securite_civile/securite_civileDDRM_nucleaire.htm#top)>
- [11] Association Vinçotte Nuclear (AVN) : EMERGENCY PREPAREDNESS: Belgian Nuclear Emergency Plan (2003)
- [12] U.S. Nuclear Regulatory Commission: Severe Accident Risks: An Assessment for Five U.S. Nuclear Power Plants, NUREG-1150, Vol. 1～3 (1990, 1991).
- [13] U.S. Environmental Protection Agency: Manual of Protective Action Guides and Protective Actions for Nuclear Incidents, EPA 400-R-92-001, (1992).
- [14] Nuclear Energy Institute: Range of Protective Actions for Nuclear Power Plant Incidents, NEI guidance (2005) 本資料は下記[15]に全文が転載されている。
- [15] U.S. Nuclear Regulatory Commission: Endorsement of Nuclear Energy Institute (NEI) Guidance –Range of Protective Actions for Nuclear Power Plant Incidents, RIS 2005-08, USNRC, Washington, DC (2005).

- [16] International Atomic Energy Agency, IACR/IAEA: CONVEX-3 (2005) Exercise Report, IAEA, Vienna, (2005)  
 IAEA のCONVEX-3 (2005)については、以下の調査報告がある。  
 山本一也：“IAEA 国際緊急時対応演習ConvEx-3に関する調査”，JAEA-Review 2007-021 (2007)
- [17] 木村仁宣, 本間俊充：“原子力あるいは放射線緊急事態における各国の短期防護措置の現状”，保健物理, 41, 2, p.76 - 87 (2006)
- [18] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY: Method for Developing Arrangements for Response to a Nuclear or Radiological Emergency, EPR-METHOD 2003 (2003).
- [19] U.S. Nuclear Regulatory Commission: Request for Information Regarding Evacuation Times, GL80060, July 2, (1980).
- [20] U.S. Nuclear Regulatory Commission: State of the Art in Evacuation Time Estimate Studies for Nuclear Power Plants, NUREG/CR-4831 (1992).
- [21] U.S. Nuclear Regulatory Commission: Development of Evacuation Time Estimate Studies for Nuclear Power Plants, NUREG/CR-6863 (2005).
- [22] 山本一也, 渡辺文隆, 松岡紀雄, 小澤敏克：“原子力緊急時対応体制に関する米国調査報告”，JNC TN1420 2005-001(2005)
- [23] James Lee Witt Associates: Review of Emergency Preparedness of Areas Adjacent to Indian Point and Millstone (2003)
- [24] OFFICE OF FIRE and EMERGENCY SERVICES, COUNTY OF ROCKLAND: Community Emergency Planning for Indian Point: A Guide for You and Your Family, ROCKLAND COUNTY 2005-2006.
- [25] ウェストチェスター郡HP (online),  
 < [http://giswww.westchestergov.com/indianpoint/emap/indian\\_postback.aspx](http://giswww.westchestergov.com/indianpoint/emap/indian_postback.aspx) >
- [26] ロックランド郡HPのIndian Point Interactive GIS Mapping System (online),  
 < <http://www.idsigis.com/rockland/start.asp?tfw=300> >
- [27] T. Ishigami, K. Kobayashi, M. Umemoto, and T. Matsunaga: A Simplified simulation method for selecting the most effective off-site protective action, Reliability Eng. & System Safety, 86, p.61 (2004)
- [28] T. Urbanik II: Evacuation time estimates for nuclear power plants, J.Hazard.Mater., 75, p.165 (2000).
- [29] R. B. Goldblatt: 私信 (2006)
- [30] F. Southworth: Regional Evacuation Modeling: A State-of-the-Art Review, ORNL-TM-11740 (1991)
- [31] R. B. Goldblatt and K. Weinisch: Evacuation Planning, Human Factors, and Traffic Engineering: Developing Systems for Training and Effective Response, Transportation Research Board\_TR NEWS, 238, p.13 (2005)

- [32] 佐藤宗平, 梅本通孝, 本間俊充: “原子力災害時の一時集合に要する移動距離分布の推定”, JAERI-Data/Code 2005-009 (2005)
- [33] Vermont Guardian紙: “Evacuation times more than doubled in new study”, Oct. 18 (2005)
- [34] R. B. Goldblatt: Evacuation Planning: A Key Part of Emergency Planning, 83rd Annual Meeting Transportation Research Board, Washington D.C., USA (2004)
- [35] American Nuclear Society: “Flexible REP rules should be a goal, Jaczko says”, Nuclear News, July, p.24 (2007)
- [36] A.K. Rathi: A microcomputer based traffic evacuation modeling system for emergency planning application, Oak Ridge National Laboratory, Submitted to the U.S. Department of Energy (1994)
- [37] J. Sorensen, B. Shumpert, and B. Vogt: Planning Protective Action Decision-Making: Evacuate or Shelter-In-Place?, Oak Ridge National Laboratory, ORNL/TM-2000/144, (2002).
- [38] 交通工学研究会: 交通流シミュレーションクリアリングハウス (online), < <http://www.jste.or.jp/sim/index.html> >
- [39] 柏崎市: 原子力災害時避難誘導マニュアル, 新潟県柏崎市, (2006).
- [40] 科学技術振興機構: 有珠山の噴火, 失敗知識データベース(online), < <http://shippai.jst.go.jp/fkd/Detail?fn=2&id=CA0000619> >
- [41] 小坂俊吉, 宮野道雄: “2000年有珠山噴火における住民避難行動”, 地域安全学会梗概集, 12, p141 (2002)
- [42] 大規模災害発生時における国の被災地応急支援のあり方検討会報告書, 内閣府 (2006).
- [43] 内閣府: 有珠山噴火災害教訓情報資料集 (online), < <http://www.bousai.go.jp/usuzan/> >
- [44] 泊発電所原子力防災会議協議会: 泊発電所周辺地域原子力防災計画; 退避等措置計画編, 北海道 (2006).
- [45] 新潟県: 新潟県原子力災害避難基本計画 (1996).
- [46] 石川県: 石川県退避等措置計画要綱 (2005).
- [47] 例えば, 志賀町地域防災計画; 原子力防災計画編 - 退避等措置計画, 石川県志賀町 (2001).
- [48] 例えば, 伊方町原子力防災計画, 愛媛県伊方町 (2001).

付録 米国の緊急時活動クラス分類

米国では、NRCが原子力施設の緊急時における対応活動をプラントの状態に応じて、付表に示す4つにクラス分類している。これを緊急時活動レベル（Emergency Action Level）と呼んでいる。この緊急時活動レベルは、事業者が判断し、州、郡政府、NRC等への緊急時通報をはじめ、すべての原子力緊急時対応の活動がこれに応じて開始される。緊急時活動レベルはNUREG-0654<sup>7)</sup>に記載され、その後、NEIが事業者向けに緊急時活動レベルの判断に関するガイドNEI 99-01 (NUMARC/NESP-007)<sup>付1)</sup>を作成し、NRCがこれの採用を認める文書<sup>付2)</sup>を発行している。

[付1] Nuclear Energy Institute: Methodology for Development of Emergency Action Levels, NEI 99-01 Rev. 4 (NUMARC/NESP-007), (2003)

[付2] U.S. Nuclear Regulatory Commission: Use of NEI 99-01, “Methodology for Development of Emergency Action Levels,” Rev. 4, dated January 2003, RIS 2003-18 (2003), and the two Supplements in 2004 and 2005.

付表 米国 NRC の緊急時活動レベル

[出典：原子力安全委員会「原子力施設等の防災対策について」<sup>3)</sup> より作成]

緊急時活動レベル (Emergency Action Level)	状 況
異常事象の通告 (Notification of Unusual Event)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 今後の操作のミスや設備の故障によってはさらに深刻な事態となりうる,あるいは,現時点で明らかになっていないがさらに深刻な事態となりうる兆候を示す小さな事象 (プラントの安全水準の低下の可能性)</li> <li>・ 事業者は NRC 及び州等の地方政府へ通報</li> </ul>
アラート〔警戒〕 (Alert)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 今後の操作のミスや設備の故障によってはさらに深刻な事態となりうる,あるいは,現時点で明らかになっていないがさらに深刻な事態となりうる兆候を示す小さな事象 (プラントの安全水準の大幅な低下)</li> <li>・ 事業者は所内体制を敷き,敷地内モニタリングを実施。NRC 及び州等の地方政府は緊急時の待機態勢。</li> </ul>
サイト緊急事態 (Site Area Emergency)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 有意な放射性物質の放出が発生しつつある,あるいは予想される。</li> <li>・ 緊急時活動の本格化。敷地外モニタリング, NRC 及び州等の地方政府も加わった対応策協議が開始。</li> </ul>
一般〔全面〕緊急事態 (General Emergency)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 隔離機能の健全性が損なわれる可能性とともに,炉心の損傷や溶融が発生,あるいは差迫っている状態。オフサイトにおける被ばくレベルが EPA PAG を超えてしまうことが十分予想される放射性物質の放出。</li> <li>・ 避難等,防護対策活動の開始。</li> </ul>

This is a blank page.

# 国際単位系 (SI)

表1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質の量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m <sup>2</sup>
体積	立方メートル	m <sup>3</sup>
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s <sup>2</sup>
波数	毎メートル	m <sup>-1</sup>
密度 (質量密度)	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>
質量体積 (比体積)	立方メートル毎キログラム	m <sup>3</sup> /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m <sup>2</sup>
磁界の強さ (物質量の) 濃度	アンペア毎メートル	A/m
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m <sup>2</sup>
屈折率	(数の) 1	1

表5. SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 <sup>24</sup>	ヨタ	Y	10 <sup>-1</sup>	デシ	d
10 <sup>21</sup>	ゼタ	Z	10 <sup>-2</sup>	センチ	c
10 <sup>18</sup>	エクサ	E	10 <sup>-3</sup>	ミリ	m
10 <sup>15</sup>	ペタ	P	10 <sup>-6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>12</sup>	テラ	T	10 <sup>-9</sup>	ナノ	n
10 <sup>9</sup>	ギガ	G	10 <sup>-12</sup>	ピコ	p
10 <sup>6</sup>	メガ	M	10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>3</sup>	キロ	k	10 <sup>-18</sup>	アト	a
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h	10 <sup>-21</sup>	ゼプト	z
10 <sup>1</sup>	デカ	da	10 <sup>-24</sup>	ヨクト	y

表3. 固有の名称とその独自の記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン <sup>(a)</sup>	rad		m <sup>2</sup> ・m <sup>-1</sup> =1 <sup>(b)</sup>
立体角	ステラジアン <sup>(a)</sup>	sr <sup>(c)</sup>		m <sup>2</sup> ・m <sup>-2</sup> =1 <sup>(b)</sup>
周波数	ヘルツ	Hz		s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N		m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup>
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup>
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N・m	m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup>
工率, 放射束	ワット	W	J/s	m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-3</sup>
電荷, 電気量	クーロン	C		s・A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-3</sup> ・A <sup>-1</sup>
静電容量	ファラド	F	C/V	m <sup>2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>4</sup> ・A <sup>2</sup>
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m <sup>2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-3</sup> ・A <sup>-2</sup>
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V	m <sup>-2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>3</sup> ・A <sup>2</sup>
磁束密度	ウェーバ	Wb	V・s	m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup> ・A <sup>-1</sup>
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>	kg <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup> ・A <sup>-1</sup>
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup> ・A <sup>-2</sup>
セルシウス温度	セルシウス度 <sup>(d)</sup>	°C		K
光度	ルーメン	lm	cd・sr <sup>(c)</sup>	m <sup>2</sup> ・m <sup>-2</sup> ・cd=cd
照射度	ルクス	lx	lm/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> ・m <sup>-4</sup> ・cd=m <sup>-2</sup> ・cd
(放射性核種の) 放射能	ベクレル	Bq		s <sup>-1</sup>
吸収線量, 質量エネルギー分与, カーマ線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量, 組織線量当量	グレイ	Gy	J/kg	m <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup>
	シーベルト	Sv	J/kg	m <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup>

- (a) ラジアン及びステラジアンの使用は、同じ次元であっても異なった性質をもった量を区別するときの組立単位の表し方として利点がある。組立単位を形作るときにいくつかの用例は表4に示されている。  
 (b) 実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号“1”は明示されない。  
 (c) 測光学では、ステラジアンの名称と記号srを単位の表し方の中にそのまま維持している。  
 (d) この単位は、例としてミリセルシウス度m°CのようにSI接頭語を伴って用いても良い。

表4. 単位の中に固有の名称とその独自の記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘着力のモーメント	パスカル秒	Pa・s	m <sup>-1</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-1</sup>
表面張力	ニュートンメートル	N・m	m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup>
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup>
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m <sup>2</sup> ・m <sup>-1</sup> ・s <sup>-1</sup> =s <sup>-1</sup>
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎平方メートル	rad/s <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> ・m <sup>-1</sup> ・s <sup>-2</sup> =s <sup>-2</sup>
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m <sup>2</sup>	kg <sup>2</sup> ・s <sup>-3</sup>
質量熱容量 (比熱容量), 質量エントロピー (比エネルギー)	ジュール毎キログラム	J/K	m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup> ・K <sup>-1</sup>
	ジュール毎キログラム	J/(kg・K)	m <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup> ・K <sup>-1</sup>
熱伝導率	ジュール毎メートル毎ケルビン	J/(m・K)	m <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup> ・K <sup>-1</sup>
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m・K)	m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-3</sup> ・K <sup>-1</sup>
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m <sup>3</sup>	m <sup>-1</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup>
体積電荷	ボルト毎メートル	V/m	m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-3</sup> ・A <sup>-1</sup>
電気変位	クーロン毎立方メートル	C/m <sup>3</sup>	m <sup>-3</sup> ・s <sup>2</sup> ・A
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> ・s <sup>2</sup> ・A
透磁率	ファラド毎メートル	F/m	m <sup>-3</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>4</sup> ・A <sup>2</sup>
モルエネルギー	ヘンリー毎メートル	H/m	m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup> ・A <sup>-2</sup>
モルエントロピー	ジュール毎モル	J/mol	m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup> ・mol <sup>-1</sup>
モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol・K)	m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup> ・K <sup>-1</sup> ・mol <sup>-1</sup>
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg <sup>-1</sup> ・s <sup>2</sup> ・A
吸収線量	グレイ毎秒	Gy/s	m <sup>2</sup> ・s <sup>-3</sup>
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m <sup>4</sup> ・m <sup>-2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-3</sup> =m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-3</sup>
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m <sup>2</sup> ・sr)	m <sup>2</sup> ・m <sup>-2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-3</sup> =kg <sup>2</sup> ・s <sup>-3</sup>

表6. 国際単位系と併用されるが国際単位系に属さない単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	''	1''=(1/60)'=(π/648000) rad
リットル	l, L	1 l=1 dm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
トン	t	1 t=10 <sup>3</sup> kg
ネーパ	Np	1 Np=1
ベル	B	1 B=(1/2) ln10 (Np)

表7. 国際単位系と併用されこれに属さない単位でSI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.60217733(49) × 10 <sup>-19</sup> J
統一原子質量単位	u	1 u=1.6605402(10) × 10 <sup>-27</sup> kg
天文単位	ua	1 ua=1.49597870691(30) × 10 <sup>11</sup> m

表8. 国際単位系に属さないが国際単位系と併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
海里	海里	1 海里=1852m
ノット	ノット	1 ノット=1 海里毎時=(1852/3600) m/s
アール	a	1 a=1 dam <sup>2</sup> =10 <sup>2</sup> m <sup>2</sup>
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
バール	bar	1 bar=0.1 MPa=100kPa=1000hPa=10 <sup>5</sup> Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1 nm=10 <sup>-10</sup> m
バール	b	1 b=100fm <sup>2</sup> =10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>

表9. 固有の名称を含むCGS組立単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
エルグ	erg	1 erg=10 <sup>-7</sup> J
ダイン	dyn	1 dyn=10 <sup>-5</sup> N
ポアズ	P	1 P=1 dyn・s/cm <sup>2</sup> =0.1 Pa・s
スタークス	St	1 St=1 cm <sup>2</sup> /s=10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /s
ガウス	G	1 G=10 <sup>-4</sup> T
エルステッド	Oe	1 Oe=(1000/4π) A/m
マクスウェル	Mx	1 Mx=10 <sup>-8</sup> Wb
スチル	sb	1 sb=1 cd/cm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> cd/m <sup>2</sup>
ホト	ph	1 ph=10 <sup>4</sup> lx
ガル	Gal	1 Gal=1 cm/s <sup>2</sup> =10 <sup>-2</sup> m/s <sup>2</sup>

表10. 国際単位に属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7 × 10 <sup>10</sup> Bq
レントゲン	R	1 R=2.58 × 10 <sup>-4</sup> C/kg
ラド	rad	1 rad=1 cGy=10 <sup>-2</sup> Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 <sup>-2</sup> Sv
X線単位	X unit	1 X unit=1.002 × 10 <sup>-4</sup> nm
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 <sup>-9</sup> T
ジャンスキー	Jy	1 Jy=10 <sup>-26</sup> W・m <sup>-2</sup> ・Hz <sup>-1</sup>
フェルミ	fem	1 fermi=1 fm=10 <sup>-15</sup> m
メートル系カラット	carat	1 metric carat=200 mg=2 × 10 <sup>-4</sup> kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カリ	cal	
マイクロ	μ	1 μ=1 μm=10 <sup>-6</sup> m



古紙配合率100%  
白色度70%の再生紙を使用しています