

福島第一原子力発電所事故を契機とした IAEA 輸送安全規則 の見直しと日本の貢献 －放射性物質の輸送中に自然ハザードに起因して起きる潜在事象の 同定と評価－

平尾 好弘*、近内亜紀子*

**Review of IAEA safety standards in light of lessons learned from the
Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident and Japan's contribution
－ Identification and evaluation of potential incidents caused by natural
hazards during transport of radioactive materials －**

by

Yoshihiro HIRAO and Akiko KONNAI

Abstract

After Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, Japanese government submitted a report to International Atomic Energy Agency (IAEA) Ministerial Conference on Nuclear Safety in June 2011. The report had 28 lessons learned from the accident and IAEA Director General suggested to the Committee of Safety Standards to review the IAEA Standards, including Transport Safety Standards (TSS), based on the lessons learned. Japanese government provided the information on the accidents and their gap-analysis to Member States in cooperation with IAEA Secretariats. In this paper, we outline Japan's contribution to the TSS review process, including an evaluation study of potential incidents caused by natural hazards during transport of radioactive materials.

The study provides a framework for identifying transport incidents potentially caused by extreme earthquake, tsunami and others using the hazard matrix, rating them by two risk indices of occurrence frequency and severity on package safety, and then specifying a group of significant incidents using the risk matrix. Also, for Japan's domestic transport of spent nuclear fuels, a case study was performed to show the applicability of the framework. Over 300 incidents were identified in terms of 22 types of natural events, 4 types of accident loads (impact, fire, immersion and burial) and 4 transport modes (land, sea, cargo and temporal storage). After evaluation, 9 incidents were left in a group of possibly exceeding accident conditions of regulatory requirements. However, it have been verified so far by detailed survey that none of them have major impact on package safety. The results were presented in the technical meeting (TM-44891) held in July 2013.

* 海洋リスク評価系

原稿受付 平成26年 2月 14日

審査日 平成26年 3月 4日

目 次

1. まえがき	14
2. 福島事故を契機とした IAEA 規則見直し	14
2.1 福島事故から得られた教訓	14
2.2 福島事故教訓に基づく IAEA 規則全般の見直し	15
3. 福島事故教訓を受けた IAEA 輸送規則見直し	16
3.1 IAEA 輸送規則におけるギャップ分析	16
3.2 その後の議論と現在	16
4. 自然事象に起因する輸送事象の同定と評価	17
4.1 輸送事象の同定と重要度評価の手順	17
4.2 評価対象の範囲	17
4.3 輸送で考慮すべき自然事象の選定	17
4.4 ハザードマトリクスを用いた輸送事象の同定	18
4.5 輸送事象の発生頻度と輸送物影響度の評価	18
4.6 事象の重要度レベルを表す評価指標の決定	18
4.7 リスクマトリクスを援用した過酷事象の同定	18
4.8 ケーススタディによる潜在的な過酷事象の例	19
4.9 規則における潜在的過酷事象の扱いについて	19
5. まとめ	19
謝辞	20
参考文献	20

1. まえがき

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震および津波によって、福島第一原子力発電所に重大な事故（以下、福島事故と呼ぶ）が発生した。原子力施設の設置に関する安全基準については、地理的状況等の考慮が必要であるため国によって差があるものの、一般的には国際原子力機関（IAEA）において策定された原子力安全基準に則ったものであり、日本の安全基準もそれを尊重して策定されている。そこで、IAEA は福島事故の教訓を以て、IAEA 原子力安全基準全体を見直すという判断を行った。本論文においては、前半において、福島事故後の IAEA 安全基準見直しを巡る動きについて IAEA 放射性物質安全輸送規則（以下、IAEA 輸送規則）を中心に述べ、後半においては、教訓の一つとして挙げられた放射性物質輸送中に考慮すべき自然起因事象について、確率的リスク評価の考え方を以て事象の同定お

よび重要度の評価を行った結果をまとめる。

2. 福島事故を契機とした IAEA 規則見直し

2.1 福島事故から得られた教訓

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震および津波によって、福島第一原子力発電所に重大な事故が発生した。現在も事故の収束に向けた取り組みは続けられているが、当時福島第一原子力発電所等で何が起こり、どのように進展し、そしてこれから事故をどのように収束させようとしているかについての正確な情報、更にはこの事故から何を教訓として汲み取っているかを世界に伝えることは重要な責務であるという認識に基づき、2011 年 6 月に IAEA において開催された閣僚会合において、日本代表は事故状況およびその教訓について報告を行った。この報告内容は、「原子力安全に関する IAEA 閣僚会議に対する日本国政府の報告書—東京電力福島原子力発電所の事故について—」（以下、IAEA 閣僚会合報告書¹⁾）として原子力災害対策本部によってとりまとめられたものであり、2011 年 5 月 31 日までに判明した事実関係に基づき福島事故における事実関係の整理および事故を踏まえた教訓について整理されたものである。そこでは福島事故から得られた教訓を他の国と共有する意図について、以下のように述べられている。

“今回の事故はシビアアクシデントに至り、原子力安全に対する国民の信頼を揺るがし、原子力に携わる者の原子力安全に対する過信を戒めるものとなった。このため、今回の事故から徹底的に教訓を汲み取ることが重要である。原子力安全確保の最も重要な基本原則は深層防護であることを念頭に、現時点で、次の 5 つのグループに分けた教訓を示す。これらの教訓を踏まえ我が国における原子力安全対策は、今後、根本的な見直しが不可避であると認識している。これらの教訓の中には、我が国固有の事情によるものも含まれているが、教訓の全体像の提示という観点から、それらも含めて示すことにする。”

報告書にまとめられた教訓は、以下の 5 グループの観点から大別されている。まず、福島事故において、全電源喪失による炉心損傷というシビアアクシデント（原子力発電所の設計時の想定をこえる過酷事故）が起きたが、確実な非常用電源の準備等、シビアアクシデントを防止するための対策が足りなかったのではないかとという観点（A：シビアアクシデント防止策の強化）、そしてシビアアクシデントが発生してしまった場合に、水素の

排出手段の確保等、最悪の結果を回避するための準備が足りなかったのではないかという観点 (B: シビアアクシデントへの対応策の強化) である。次に、原子力災害への対応を振り返って、現場と中央の認識に齟齬があり対応に混乱が生じたこと等から、住民避難指示のあり方や情報提供が適正であったかという観点 (C: 原子力災害への対応の強化)、そして原子力安全審査や事故対応に当たる安全規制行政体制や法体系に問題がなかったかという観点 (D: 安全確保の基盤の強化) である。最後に、施設に対する定期的な安全対策の見直しが適切になされていなかったのではないかという観点 (E: 安全文化の徹底) である。これら 5 グループからなる全 28 項目の教訓を表 1 にまとめる。

表 1 IAEA 閣僚会合報告書にまとめられた
福島事故 28 項目の教訓

A: シビアアクシデント防止策の強化 (1)地震・津波への対策の強化 (2)電源の確保 (3)原子炉及び格納容器の確実な冷却機能の確保 (4)使用済燃料プールの確実な冷却機能の確保 (5)アクシデントマネジメント対策の徹底 (6)複数炉立地における課題への対応 (7)原子力発電施設の配置等の基本設計上の考慮 補足: 使用済燃料プールが原子炉建屋の高い位置にあり事故対応が困難、原子炉建屋の汚染水がタービン建屋に及び、建屋間の汚染水の拡大を防ぐことができなかったこと等 (8)重要機器施設の水密性の確保 補足: 補機冷却用海水ポンプ施設、非常用ディーゼル発電機、配電盤等の多くの重要機器施設が津波で冠水
B: シビアアクシデントへの対応策の強化 (9)水素爆発防止対策の強化 (10)格納容器ベントシステムの強化 補足: 格納容器ベントシステムの操作性に問題があった (11)事故対応環境の強化 (12)事故時の放射線被ばくの管理体制の強化 (13)シビアアクシデント対応の訓練の強化 (14)原子炉及び格納容器などの計装系の強化 (15)緊急対応用資機材の集中管理とレスキュー部隊の整備
C: 原子力災害への対応の強化 (16)大規模な自然災害と原子力事故との複合事態への対応 (17)環境モニタリングの強化 (18)中央と現地の関係機関等の役割の明確化等 (19)事故に関するコミュニケーションの強化 (20)各国からの支援等への対応や国際社会への情報提供の強化 (21)放射性物質放出の影響の的確な把握・予測

(22)原子力災害時の広域避難や放射線防護基準の明確化 D: 安全確保の基盤の強化 (23)安全規制行政体制の強化 (24)法体系や基準・指針類の整備・強化 (25)原子力安全や原子力防災に係る人材の確保 (26)安全系の独立性と多様性の確保 (27)リスク管理における確率論的安全評価手法 (PSA) の効果的利用
E: 安全文化の徹底 (28)安全文化の徹底 補足: 過去に安全審査を受け適合した施設においては最新基準への適合 (バックフィット制度) が義務付けられていなかった

2.2 福島事故教訓に基づく IAEA 規則全般の見直し

日本からの報告を受けて、IAEA 閣僚会合において天野事務局長は、28 項目の教訓を基に IAEA 原子力安全基準全体を見直すことを宣言した。教訓自体は、原子力発電所施設における事故から得られたものであるが、放射線防護や廃棄物貯蔵施設、放射性物質の輸送等、IAEA が定める他の原子力活動に関する安全基準においても同様の観点から見直しを検討すべきという考えから、全ての安全基準が見直しの対象に含まれた。

翌月、事務局長から安全基準委員会 (CSS)^a議長宛書簡の中で、12 ヶ月以内に全ての安全基準文書に対して福島事故 28 項目教訓とのギャップ分析を行い、改善事項等を報告するよう要請がなされた。この要請は「原子力安全に関する IAEA 行動計画」(以下、行動計画²⁾)の一部としてとりまとめられ、2011 年 9 月の理事会及び総会において、加盟国に正式に承認された。

各安全基準委員会は、年に 2 回開催されており、総会後 10 月に第 23 回輸送安全基準委員会 (TRANSSC 23) が開催された。TRANSSC 事務局からは、福島事故後に IAEA が作成した行動計画の説明があり、IAEA 輸送規則についても見直し対象となっていることが加盟国に説明された。日本からは、福島事故の現状および IAEA 閣僚会合報告書にまとめられた 28 項目の教訓が紹介された。TRANSSC 23 における結論として、まずは、日本を中心に 28 項目の教訓を輸送安全規則に当てはめた場合の改善点リストを事務局と共同で年内にまとめ、加盟国に提示することとなった。

^a IAEA 原子力安全基準を策定する委員会で、下部組織に各分野 (原子力施設、放射線防護、廃棄物、輸送) の安全基準を策定する各委員会 (NUSSC, RASSC, WASSC, TRANSSC) がある。

3. 福島事故教訓を受けた IAEA 輸送規則見直し

3.1 IAEA 輸送規則におけるギャップ分析

TRANSSC 23 の決定を受けて、国内においては、原子力安全・保安院が中心となり放射性物質輸送関係省庁や輸送関係者等によって、上記 28 項目の教訓を輸送に当てはめた場合に規則が改善される点があるかという観点から議論がなされた。

全ての輸送において一律に取扱える改善点でなければ規則化は困難ではあるが、議論の過程で、原子力発電施設専用港等において、教訓 A(2)電源の確保等に関連して、荷役中クレーンの停電等を想定した電源車等の予備電源の設置や緊急離岸のための訓練等が検討され、特定の輸送における自主的な改善としてこれまでに実施されている。

その後、日本がまとめたギャップ分析結果に IAEA 事務局が議論の始点を追加した一覧が加盟国に配布され、各加盟国からコメントが寄せられた。日本も事務局の示した議論の始点をもとに一次評価を行って事務局に提出した。ギャップレビュー及び評価結果の一部を表一 2 に示す。

3.2 その後の議論と現在

日本の規制当局をはじめ国内輸送関係者は、一次評価を検討するとともに、評価結果に対して日本としてどのような対応をとるかについても検討を行った。例えば、表一 2 に示した教訓の第 1 項目「地震・津波への対策の強化」において、輸送物試験要件や輸送作業者の被ばく評価等の規則要件においては、全ての自然影響等を想定しているわけではないが、発生頻度と影響の大きさ及び安

全輸送への総合的な寄与から要件は設定されるべきとの評価がなされ、日本として放射性物質輸送に影響の大きい自然災害の有無を改めて検討し、必要があればそれを規則に反映すべきという意見があった。これを受けて、想定外事象を検討する 1 つのアイデアとして当所で実施した検討が、次章に示す自然事象に起因する輸送事象の同定とリスク概念に基づく重要度評価である。

その後、専門家会合及び TRANSSC 24 において、IAEA 輸送規則においては直ちに変更しなければならない要件はないが、輸送物の試験要件等が自然災害により想定される輸送物の状況を包絡したものかを検討するよう仏国から提案があり承認された。また、当時改定作業中であった輸送時の緊急時対応を示した IAEA 安全指針(TS-G-1.2)においては、関連する教訓項目の分析結果を反映させることが決定された。

2013 年 7 月には、IAEA において輸送環境技術会合(TM-44891)が開催された。この会合の発端は、IAEA 輸送規則の策定から約 50 年が経ち、その間の気候変動や輸送インフラの変化が輸送規則に与える影響を評価するよう、2009 年 IAEA 総会において決議されたことであったが、会合準備の過程で福島事故の教訓が輸送規則に与える影響も議題に含まれることとなった。日本からは福島事故教訓を受けた IAEA 基準見直しの経緯、及び自然事象に起因する輸送事象の同定・評価手法とそれに基づく使用済燃料の国内輸送を対象としたケーススタディの結果が報告された。技術会合の結果は、2013 年 IAEA 輸送規則見直しサイクルに規則変更提案として提出され、今後具体的な議論が実施される予定である。

表一 2 福島事故教訓と IAEA 輸送規則のギャップ分析と議論の始点に対する日本の一次評価（抜粋）

28 項目の教訓	ギャップレビュー	IAEA 事務局による議論の始点	日本の一次評価	対応の提案
(1)地震・津波への対策の強化	地震・津波により輸送物に作用する負荷が輸送規則条件で包絡されているか、また、規則で想定されていない評価事象がないか検討すべき。	自然影響等の問題は想定している試験と Q システムですべて考えられているか。	輸送規則要件は全ての自然影響等を想定しているわけではない。(中略)発生頻度と影響の大きさ・安全輸送の総合的な寄与から要件は設定されるべき。	想定外事象を検討する 1 つのアイデアとして、輸送リスク評価について、その必要性を検討する。
(27)リスク管理における確率的安全評価手法(PSA)の効果的利用	規則の事故条件は決定的な考え方では定められており、十分な安全実績を有する。しかしながら総合的なリスク評価を行うことにより輸送リスク管理に有効な情報が得られるかどうか検討すべき。(後略)	輸送物の破損基準を超えるような最も重大なリスクを同定するために、一般的なリスク評価を実施できるか。	輸送規則に基づいたリスク評価手法が必要であり、時間を要する(中/長期的な研究・開発)と考えられる。(後略)	想定外事象を検討する 1 つのアイデアとして、輸送リスク評価について、その必要性を検討する

4. 自然事象に起因する輸送事象の同定と評価

輸送という行為は、炉施設等の固定施設内で行われるプロセス事業と異なり、基本的に屋外で実施されるため、自然からの影響を本来的に受けやすい。そういう認識のもと、輸送事業者らは気象・海象・地震・津波その他の予報を配慮した安全運行体制を整えている。

現行のIAEA輸送規則は、具体的な原因事象を特定することなく、事故時において安全側に想定される一定の外部負荷（輸送物試験条件³⁾）に対し、輸送物の健全性を担保するように求めている。こうした決定論的な規則は分かりやすく、規制をインプリメントする段階で様々なレベルの関係者に説明しやすい反面、基準設定の根拠が曖昧になりやすくしばしば客観性を欠くものとなる。自然環境を含め、輸送を取り巻く環境は時代とともに変化しており、新たな知見を取り入れつつ適宜見直しを行う必要がある。

自然事象に係る規制課題への対処方針を決めるためには、まずIAEA輸送規則が自然事象に対する安全性をどこまでカバーしているか調べる必要がある。具体的には、国内の典型的な輸送ルートに影響を及ぼす可能性のある自然事象は何か、それに起因して生じうる輸送事象はどのようなものか、そして結果的に輸送物に与えられる負荷が現行の試験条件の範囲でカバーされるかといったことである。このような整理がなされた上で、規則の見直しを行う必要があるか、もしあるなら何をどのように見直すべきかといった検討が可能になる。なお、ここでの輸送事象とは、輸送中に何らかの自然事象に遭遇し、事象が展開して最終的に輸送物に影響を及ぼす可能性のあるシナリオのことである。

本章では輸送事象の同定手法、及び輸送事象から過酷事象を特定する重要度評価手法を説明するとともに、使用済核燃料の典型的な国内輸送に対するケーススタディの結果を示す⁴⁾。最後に、規則における過酷事象の扱いについて考察を述べる。

4.1 輸送事象の同定と重要度評価の手順

潜在的な輸送事象を同定し、重要度を評価する手順を図-1に示す。まず、評価対象とする輸送物、輸送施設、輸送環境等を確認し、評価対象の範囲を決定する。次に、評価対象の範囲で考慮すべき自然事象の種類を選定し、各種に起因して生じうる輸送事象を網羅的に同定する。同定された各輸送事象の発生頻度と影響の深刻度を半定量的に評価した後、それらの評価値を参考に頻度と影響度のレベルを大まかに表す指標区分を決定する。

最後に、それら二つの指標を割り当てた輸送事象を全てリスクマトリクス上の対応するセルに配置し、ある基準を満たすセルに含まれる事象群を過酷事象として特定する。以下、各段階についてケーススタディの結果を例示しながら説明する。

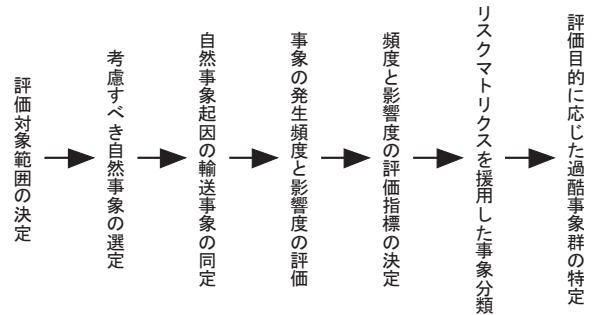


図-1 輸送事象の同定と重要度評価の手順

4.2 評価対象の範囲

図-2に国内の典型的な輸送環境を想定したケーススタディの評価対象範囲を示す。輸送物は使用済核燃料を収納したB型輸送容器とし、原子力発電所から受入施設までの輸送行程を4つの輸送モード、即ち専用車両による陸上輸送、大型クレーンを用いた港湾荷役、専用運搬船による海上輸送、そして港における輸送物の一時保管時に分けた。一般に注意すべき輸送場面として、海上輸送における港湾内航行、陸上輸送における鉄道利用、トンネル及び橋梁の通行等があげられるが、国内の使用済燃料輸送において鉄道やトンネルは用いられていない。また、輸送事象評価のエンドポイントは、輸送物に与えられる負荷の種類（衝撃、熱、水没、埋没）及び程度とした。



図-2 使用済核燃料の代表的な国内輸送環境

4.3 輸送で考慮すべき自然事象の選定

原因事象としての自然事象を選定するにあたり、まずは抜け落ちのないように事象種類の候補を挙げるのが重要である。この種のリストの中ではOECD/NEAレポート⁵⁾の事象リストが最も網羅性が高く、その中からASME/PRA基準⁶⁾を参考に評価対象の範囲において不要と考えられる種類を除外した残りを以降の検討対象とする。国内輸送のケーススタディで選ばれた自然事象の種類一覧を表-3に示す。

表－3 国内輸送で検討すべき自然事象の候補

風	強風（例えば台風）、竜巻
温度	気温（高い／低い）、霜
降雨	豪雨、豪雪、氷吹雪・氷雨、あられ・ひょう、霧
溢水	高潮・河川の高水位、嵐によるうねり、津波
地盤	地震事象、隆起、土地収縮・膨張、地滑り、雪崩
稲妻	稲妻（落雷）
隕石	隕石
火山	噴火
化学	腐食（例えば塩水）
火災	森林火災、その他外部火災

4.4 ハザードマトリクスを用いた輸送事象の同定

評価対象に詳しい専門家・実務家らの協力のもと、ハザードマトリクスを用いて潜在的な輸送事象を発見的に同定する。初期事象を津波とした場合のハザードマトリクスの例を表－4に示す。ハザードマトリクスとは、特定の輸送場面において特定の自然事象に遭遇したとき、最終的に輸送物に特定の負荷を与えるような事故シナリオがどのようなものか洗い出すための支援テーブルのことである。行に上で選定した自然事象の種類及び輸送物負荷の種類を、列に輸送モードの場面を設定し、各セルに対応する想定シナリオを列挙する。こうすることで重複や漏れをできるだけなくした事象同定が可能になる。ケーススタディでは全部で309件の事象が同定された。

表－4 輸送事象の同定に用いるハザードマトリクスの例

輸送モード・被災場面		荷役	陸上輸送		海上輸送		一時保管中
自然事象・負荷種類		クレーン	道路	橋梁	湾外	湾内	保管建屋
津波	衝撃	輸送物落下 他4件	車両衝突 他2件	車両落下	船舶衝突 他3件	岸壁衝突・ 乗りあげの 衝撃	建屋崩落に よる瓦礫衝 突、他1件
	熱	流出オイル 火災	流出オイル 火災他1件	車両落下に よる火災	流出オイル 火災他3件	岸壁衝突・ 乗りあげで 火災他2件	流出オイル 火災
	水没	クレーン崩 落で水没	車両水没・ 漂流	車両落下で 河川水没	沈没・転覆 他1件	岸壁衝突に 伴う沈没	
	埋没	瓦礫埋没	瓦礫埋没	車両落下で 地面埋没			建屋崩落で 瓦礫埋没他1 件

4.5 輸送事象の発生頻度と輸送物影響度の評価

輸送事象の発生頻度と影響度を半定量的な手法を用いて評価する。ケーススタディにおいて事象の発生頻度は、輸送が行われている間に、輸送物に影響を及ぼしかねない過酷な自然事象に遭遇する頻度（／年）と定義した。これは実際に行われる安全対策の効果を含まないため安全側の評価となる。輸送物に影響を及ぼしかねない負荷レベルと結果的に想定される輸送物影響の程度は、国内外の輸送物影響に係る資料から安全側に推定することとし、資料がない場合は想像できる範囲で最大に評価する。そして、そうした負荷レベル以上

の過酷な自然事象の発生頻度は国内の気象・海象等のデータから評価する。ケーススタディで行った影響レベルに基づく過酷な自然事象選定の例を表－5に示す。

表－5 影響レベルによる過酷な自然事象選定の例

自然事象	影響レベルに基づく過酷さの基準	過酷な自然事象の発生頻度評価
強風	飛来物影響を考慮し国内最大のF3クラス以上の竜巻を選定	各施設の立地地域の強風及び竜巻の発生データに基づく ⁷⁻¹⁰⁾
稲妻 落雷	電氣的障害を考慮し程度に係らず選定	輸送路周辺地域における単位面積あたりの落雷発生数に基づく ^{8,11)}
隕石	一定以上の大きさの隕石落下を基準 ⁸⁾	特定の大きさ以上の隕石の単位面積あたりの落下数に基づく ⁸⁾
噴火	一定距離より近く火砕流襲来の可能性がある第4紀火山を基準 ⁹⁾	第4紀火山の噴火・火山灰データに基づく ¹²⁻¹⁴⁾

4.6 事象の重要度レベルを表す評価指標の決定

同定された輸送事象の重要度レベルを、確率論的なリスク概念に基づき発生頻度と輸送物影響度の二つの指標を用いて評価する。指標は幅をもった評価値を整理し、理解を助けるためのもので、評価目的に応じた大まかな少数の区分であることが望ましい。頻度指標は、全ての事象の頻度評価値を並べて特定のランクに偏らないように区分する。ケーススタディで暫定した頻度指標の区分を表－6に示す。頻度の最低ランクは発生を無視できるレベルとして 10^{-6} （／年）以下とし、それより高いランクは値を一桁ずつ上げて設定した。

影響度指標の区分は、ケーススタディの目的が規則要件との比較であることから、衝撃、熱、水没の各輸送物負荷に対して輸送容器の通常、一般、特別の試験条件をランク0、1及び2にそれぞれ対応させた。埋没とは福島事故の教訓に基づいて追加された項目で、輸送物の一部が瓦礫に埋まり除熱性能が低下する可能性を考慮している。埋没の区分は、輸送物を安全に回収・移動できるまでの許容時間を段階的に設定した。いずれの負荷であっても規則要件を超える過酷な条件の可能性が示唆される場合、その事象をランク3とした。

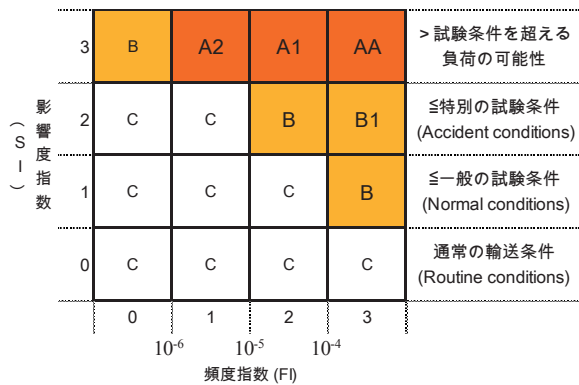
表－6 頻度指標の区分例

発生頻度 A（／年）	頻度指標 (Frequency Index)
$A \leq 10^{-6}$	0
$10^{-6} < A \leq 10^{-5}$	1
$10^{-5} < A \leq 10^{-4}$	2
$10^{-4} < A$	3

4.7 リスクマトリクスを援用した過酷事象の特定

リスクマトリクスとは、上述の頻度指標と影響度指標を横と縦の次元にもつマトリクスで、事象の重要性を総合的に評価するための支援ツールのことである。各事象に対して、4.5 節の評価をもとに頻度指標と影響度指標を割り当て、全ての事象をマトリクスのセルにマッピングすることで、注目すべき事象群をセル単位で特定可能になる。ケーススタディで用いたリスクマトリクスと注目セルの例を図一3に示す。その目的からランク3相当の潜在的影響度をもち、且つ無視しえない頻度を表すAA、A1及びA2のセルにマッピングされた事象を過酷事象として定義した。

なお、ここでのリスクマトリクスの位置づけは頻度と影響度から事象を総合的に評価するための基礎資料としてのものであり、リスクの定量化による事象の安全性判定を目的としたものではない。



図一3 輸送事象の特定に用いるリスクマトリクスの例

4.8 ケーススタディによる潜在的な過酷事象の例

ケーススタディにおいて、以上の手順を通して特定された潜在的な過酷事象のリストを表一7に示す。これらは典型的な評価対象範囲において安全側の評価を行った結果であり、手法共々、過酷事象評価のガイダンスとして利用されるべきものである。これらを軸に、国内各所の輸送物、輸送施設、輸送環境等に依存したより詳細な事象評価を行い、実際に輸送事象のシナリオが発生し、ど

表-7 ケーススタディによる潜在的過酷事象例

被災場面	自然事象	輸送事象 (輸送物影響の概要)	詳細評価
荷役作業	津波	崩落したクレーン自体による衝撃	安全性に影響無し
		陸に乗り揚げた運搬船による衝撃	
	噴火	火砕流・降下灰による直接的な加熱	
		火砕流・降下灰による部分的埋没	
陸上輸送	噴火	火砕流・降下灰による直接的な加熱	安全性に影響無し
		火砕流・降下灰による部分的埋没	
一時保管中	津波	近隣タンクから流出したオイルの火災熱	
	噴火	火砕流・降下灰による直接的な加熱	
		火砕流・降下灰による部分的埋没	

こまで展開しうるか確かめる必要がある。現在までに国内で実施された詳細評価の範囲では、表一7に示すいずれの事象に対しても実際に発生する条件にないか、万一発生しても輸送物に重大な損傷を与える結果にならないと評価されている。

4.9 規則における潜在的過酷事象の扱いについて

本研究を通じて、大規模な自然災害を仮定した場合、津波によるクレーンの倒壊や火山噴火による火砕流・降下灰の影響等、少数の潜在的な過酷事象の存在が明らかになった。ただし、いずれも推定頻度はかなり低くリスクとしては僅少であり、現行の技術基準は自然事象に対して概ね妥当と考えられる。潜在的な過酷事象に対する安全は、環境依存の詳細評価に基づき、予兆監視や緊急時対応の充実によって担保するのが適当である。

また、IAEA 輸送規則において自然事象に対する安全性を要件とした場合、その種類や規模が地理的環境によって異なるため、全国各地で技術的要件にバラツキが生じ運用に混乱を招く懸念がある。自然事象に対する安全性は、現行規則を踏まえた上で、各国のセーフティケースとして適切に評価するよう助言文書等にて示すのが妥当である。

5. まとめ

福島事故を受けて IAEA においては原子力安全基準全体の見直しを実施した。IAEA 輸送規則については、日本政府の示した 28 項目の教訓に基づきギャップ分析を行った結果、直ちに改定すべきという結論には至らなかったが、現在も改正作業中の放射性物質輸送時の緊急時対応安全指針 (TS-G-1.2) においては、関連する教訓項目の分析結果を反映させることが決定された。当所は自然災害によって放射性物質輸送に影響する可能性のある輸送事象に係る検討を実施し IAEA 輸送規則見直しの議論に貢献した。

検討内容について、自然事象に起因する潜在的な輸送事象の同定し、リスク概念を援用して重要度を評価し過酷事象を特定する手法について説明した。また、それらの手法を使用済核燃料の典型的な国内輸送に適用したケーススタディの結果を例示した。最後に、本手法とその結果に対する評価ガイダンスとしての利用や、潜在的な過酷事象の規則における扱いについて展望した。

謝 辞

本研究は、原燃輸送株式会社からの請負研究により実施した内容を含む。

参考文献

- 1) 原子力安全に関する IAEA 閣僚会議に対する日本国政府の報告書－東京電力福島原子力発電所の事故について－，原子力災害対策本部，2011 年 6 月
- 2) 原子力安全に関する IAEA 行動計画(IAEA Action Plan on Nuclear Safety), 2011 年 9 月 11 日，<http://www.iaea.org/newscenter/focus/actionplan/reports/actionplan130911.pdf>
- 3) 青木成文、放射性物質輸送のすべて、日刊工業新聞社 (1990)
- 4) Y. Hirao et al., Extraction and classification of transportation incidents potentially caused natural events emerged from the NPP accident, Proc. PATRAM2013 (2013)
- 5) OECD/NEA, Probabilistic Safety Analysis (PSA) of Other External Events than Earthquake, NEA/CSNI/R(2009)4 (2009)
- 6) ASME/ANS, Addenda to ASME/ANS RA-S-2008 Standard for Level 1/Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications, ASME/ANS RA-Sa-2009 (2009)
- 7) 気象庁，気象統計情報，
<http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>
- 8) A. Malliakos, A Pilot Probabilistic Risk Assessment Of a Dry Cask Storage System At a Nuclear Power Plant, NUREG-1864 (2007)
- 9) EPRI, Probabilistic Risk Assessment (PRA) of Bolted Storage Casks: Updated Quantification and Analysis Report, EPRI Technical Report 1009691 (2004)
- 10) 原子力規制庁，原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案），平成 25 年 6 月 3 日修正案
- 11) Franklin Japan, 全国雷観測ネットワーク (JLDN) 地域別落雷数，平成 25 年
<http://www.franklinjapan.jp/contents/observation/>
- 12) 原子力規制庁，原子力発電所の火山影響評価ガイド(案)、平成 25 年 4 月
- 13) 日本電気協会，原子力発電所火山影響評価技術指針, JEAG4625-2009 (2009)
- 14) 産業総合研究所，日本の火山（第 3 版）(2013)