

PS-31 放射性物質輸送を対象とした自然ハザードに起因する潜在事象の同定と評価

海洋リスク評価系 *平尾 好弘、近内 亜紀子

1. はじめに

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。国際原子力機関（IAEA）は、福島事故の教訓をもって原子力安全基準全体を見直すという判断を行い、IAEA放射性物質輸送規則もその対象であるとの通達加盟国になされた。当事国である日本を中心に28項目の教訓を輸送規則に当てはめた場合の改善点リストが作成され、これに各国からのコメントを反映して自然現象に起因する輸送事象の規則適合性についてのギャップレビューと一次評価がIAEAより提出された。評価の内容を国内で検討した結果、基準・要件等は事象の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設定されるべきであり、国内輸送において影響の大きい自然災害の有無を改めて検討し、必要ならば規則に反映するという方針が決定された。これを受けて当所では、過酷事象を検討する1つのアイデアとして、自然現象に起因する輸送事象の同定とリスク概念に基づく事象評価を行い、その成果を日本の対応状況としてIAEA技術会合等で報告した¹⁾。本稿では、このとき検討した自然現象に起因する様々な輸送事象を同定し、それらを確率論的リスク評価（PRA）の考え方に沿って評価する手法と、それらの手法を国内の使用済核燃料輸送に適用したケーススタディについて紹介する。

2. 自然現象に起因する輸送事象の同定と評価

現行のIAEA輸送規則は、具体的な原因事象を特定せず、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）を示し、それらに対して輸送物の健全性を担保するように求めている。ただし、輸送を取り巻く環境は自然環境も含め時代とともに変化するため、そうした決定論的な基準は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。今回のケースで規制課題の対処方針を決めるためには、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順を追って調べる必要がある。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、で

ある。これらを明確にした上で、規則の見直しを行う必要があるか、もしあるならどう見直すかといった検討が可能になる。なお、輸送事象とは、輸送中に何らかの自然現象に遭遇し、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を指す。

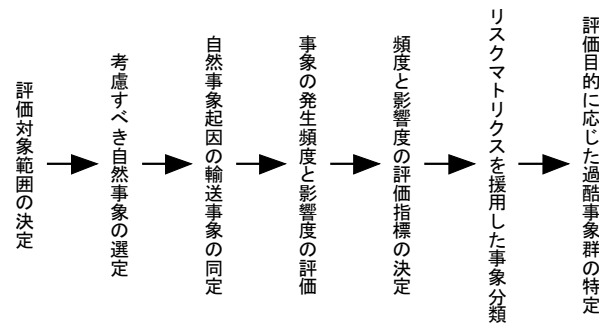


図-1 輸送事象の同定と重要度評価の手順

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。初めに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、それらに起因して生じる輸送事象を専門家らの支援の下、ハザードマトリクス（HM）を用いて発見的に同定する。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（RM）上の対応するセルに配置し、特定の基準を満たすセルに含まれる事象群を規則要件の点から注意すべき過酷事象として特定する。

3. 使用済核燃料輸送を想定したケーススタディ

国内の使用済核燃料輸送の評価対象範囲として、B型輸送容器を原子力発電所から受入施設まで輸送する行程を考慮し、輸送モードを専用車両による陸上輸送、大型クレーンによる港湾荷役、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の4つに分けた。また、事象評価のエンドポイントを輸送物に与えられる負荷の種類（衝撃、熱、水没、埋没）とその影響の程度とした。

輸送で考慮すべき自然事象の選定には、外部事象の

文献の中で最も網羅性の高い自然ハザードのリストを用いることとし、米国 ASME/PRA 基準を参考に明らかに検討不要なハザードだけ除外した¹⁾。

輸送事象の発見的な同定には、HM を用いた。HM 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事故シナリオは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。本ケースでは全部で 309 件の事象が同定された。原因事象を津波とした場合のハザードマトリクスの例を表 1 に示す。

表 1 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		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

次に、同定された輸送事象の発生頻度と影響度を半定量的な手法で評価した。発生頻度は、輸送中に、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。また輸送物に影響を及ぼしうる負荷基準と結果的に想定される輸送物影響の程度は、国内の気象海象データ及び輸送物影響に関する資料¹⁾に基づいて安全側に推定した。例えば、火山噴火の場合、輸送地域より一定距離以内であり、火砕流を起こす可能性のある第 4 紀火山を対象に、それらの噴火と火山灰のデータに基づく頻度評価を行った。

最後に、各輸送事象の重要度を PRA 概念に基づいて評価・分類した。本ケースで用いた RM を図 2 に示す。頻度指標は発生を無視できるレベルとして 10^{-6} （/年）以下をランク 0 とし、1 桁区切りの 4 区分とした。影響度指標は、目的が規則要件との比較であることから、事故負荷に対する輸送容器の通常、一般、特別の試験条件をランク 0, 1 及び 2 に其々対応させた。いずれの負荷でも規則要件を超えうる過酷な条件の可能性が示唆される場合をランク 3 とした。ここでは、影響度ランク 3 で且つ頻度ランク 1 以上に相当する AA, A1 及び A2 のセルにマッピングされる事象を潜在的な過酷事象として定義した。以上の手順を通して特定された少数の潜在的な過酷事象を表 2 に示す。これらは代表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、別途これらを軸に、国内各所の輸送物、輸送施設、輸送環境等に依存した詳細評価を行う必要がある。

なお、現在までに国内で実施された詳細評価の範囲では、表 2 に示した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。

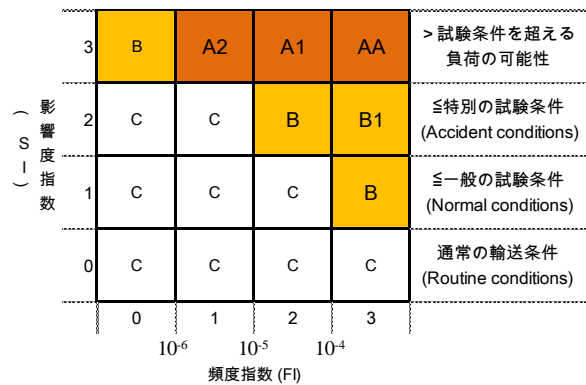


図 2 輸送事象の特定に用いるリスクマトリクスの例

表 2 ケーススタディによる潜在的過酷事象の例

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
	噴火	陸に乗り揚げた運搬船による衝撃 火砕流・降下灰による直接的な加熱	
陸上輸送	噴火	火砕流・降下灰による部分的埋没	
	津波	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	

4. まとめ

福島事故の教訓をもって IAEA が実施した原子力安全基準の見直しにおいて、当所は自然災害によって放射性物質輸送に影響する潜在的な事象の検討を実施し、IAEA 輸送規則見直しの議論に貢献した。検討の結果、自然由来の潜在事象の殆どが現行の規則要件でカバーできると評価される一方で、少数の潜在的な過酷事象の存在が明らかになった。但し、いずれも低頻度でリスクとしては僅少のため、現行規則の技術基準は自然事象に対して概ね妥当であり、潜在的な過酷事象に対する安全は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と考えられる。ここで紹介した手法及び評価の内容は、学会での標準化を通じて、自然由来の過酷事象の評価ガイダンスとしての利用が見込まれる。

謝辞

本研究は、原燃輸送（株）から委託された調査事業により実施しました。関係各位に深謝申し上げます。

参考文献

- 1) 平尾好弘, 近内亜紀子, 福島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, 海上技術安全研究所報告第 13 巻第 4 号 (2014).