

わが国の鉄道重大事故と自然災害データに基づく安全性の考察

大山 達雄, 三和 雅史

鉄道は他の輸送手段に比べて安全性において優れているとされているが、まれに発生する大事故が与える社会的不安、損失は極めて大きいことから、安全な輸送を安定して確保するための安全性向上戦略を科学的に検証し、効率的な安全性向上策を検討することは重要である。一方、多くの死傷者をもたらす自然災害についても、その発生および被害データを統計的な観点から眺め、科学的に考察した上で安全性の向上に結びつけることも重要である。本稿では、わが国において発生した鉄道重大事故と自然災害に関する統計データ解析を実施し、発生傾向、原因、被害状況を把握した上で、有効な安全性向上策を検討する。

キーワード：鉄道重大事故、自然災害、安全性、統計データ解析

1. はじめに

一般に、鉄道は他の輸送手段に比べて確実性、高速性、安全性等において優れているとされている。安全性についてみると、表1[1]に示すように人キロあたりの事故死確率が最も高い自動車と比較して航空機は約1/7、鉄道は約1/450であり、また、1時間乗車あたりの事故死確率が最も高い航空機と比較して自動車が約1/2であるのに対し、鉄道は約1/700とかなり小さい。しかしながら、まれに発生する大規模な事故が与える社会的不安、損失は極めて大きいことから、鉄道事業者においては安全な輸送を安定して確保するた

めの安全性向上戦略を科学的に検証し、効率的な安全性向上策を検討することは重要である。

一方、わが国においては、古くは1923年の関東大震災、1959年の伊勢湾台風、そして1995年の阪神・淡路大震災等、多くの死傷者をもたらす自然災害が“忘れたころ”に発生する。よって、自然災害の発生および被害データを統計的な観点から眺め、科学的に考察した上で安全性の向上に結びつけることもまた極めて重要である。

本稿では、わが国において発生した鉄道重大事故と自然災害の各データの統計処理、解析を実施し、発生傾向、原因、被害状況を把握して、有効な安全性向上策を検討する。

表1 交通機関乗車時の事故死確率

	人キロあたり	1時間乗車あたり
鉄道	1.5×10^{-11} (1)	7.5×10^{-10} (1)
航空機	1.0×10^{-9} (67)	5.0×10^{-7} (670)
自動車	6.7×10^{-9} (450)	2.0×10^{-7} (270)

- ・ 数値は1985～1994年度の平均
- ・ 鉄道は列車事故、人身障害および踏切障害の重大事故死者から乗客+乗務員の事故死数を推定（地上での事故死を含む）
- ・ 航空機は日本の航空会社の大型旅客機（国内・国際線）の小型機などの事故死を含む
- ・ 自動車は四輪以上の事故死
- ・ 表定速度を鉄道50km/h、航空機500km/h、自動車30km/hとした
- ・ () 内は鉄道の死亡確率を1とした相対値

2. 鉄道重大事故データ分析

2.1 発生構造とその要因[2]

わが国の鉄道事故データは、国土交通省監修の出版物等により公開されている。本稿では、1987年の国鉄分割・民営化以降の鉄道事故データを分析し、事故の発生および被害の傾向や特徴とこれらに大きな影響を与える要因を把握する。

鉄道事故の種類や内容については、鉄道事業法、軌道法、鉄道事故等報告規則および軌道事故等報告規則において、列車（車両）衝突事故、列車（車両）脱線事故、列車（車両）火災事故、踏切障害事故、道路障害事故、鉄道人身（障害）事故、（鉄道）物損事故、輸送障害に分類され、原因大別としては係員、車両、施設、競合脱線、鉄道外、自然災害の6つが示されて

おおやま たつお
政策研究大学院大学
〒106-8677 港区六本木7-22-1
みわ まさし
財団法人鉄道総合技術研究所
〒185-8540 国分寺市光町2-8-38

いる。さらに、10両以上の脱線車両、または10人以上の死傷者を伴う事故は重大事故とされている[3][4]。鉄道重大事故は、1987～2005年度の間に77件発生しているが、ほとんどの重大事故は死傷者数の基準に該当するものであり、脱線車両数の基準に該当するのは貨物列車による事故のみである。

重大事故件数の年度推移を図1に示す。1997年度までは2～9件/年と多いのに対し、それ以降は1～2件/年である。これは、保安システムの改良や災害・脱線対策等の安全性向上策が多くの上業者において継続的に実施された効果によると考えられる。

図2は事故種類別の件数をJRと民鉄等（PR）に分けて示したものである。列車脱線、列車衝突、踏切障害事故の順に件数が多く、これらで全体の約90%を占める。表2に示すように、いずれの事故種類においても1998年度以降の方が発生率（件/年）は小さい。

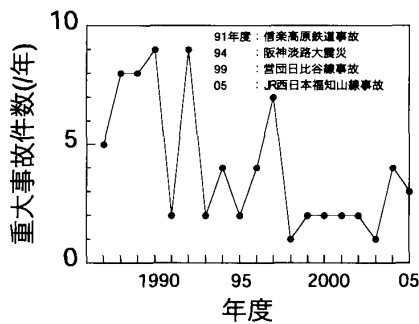


図1 鉄道重大事故件数の推移

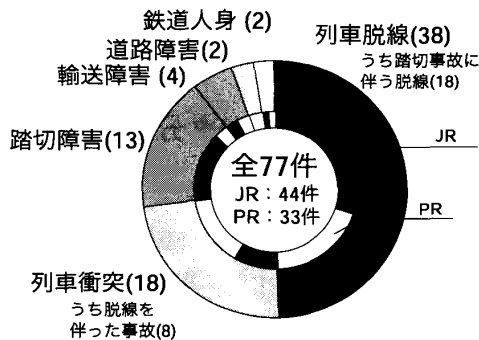


図2 重大事故種類

t-検定の結果によれば、JRの発生率の減少傾向は、いずれの事故種類でも明確であるが、PRでは特に明確ではないことから、PRにおける列車脱線、列車衝突事故の発生率の低減が課題といえる。

事故原因を原因大別と事故内容に基づいて5種類に分けて、また重量物（鉄道車両や重自動車、建築物、構造物、落下物等）への衝突および脱線の有無で分けて図3に示す。ここでは、車両や施設に大別される事故については、「故障」とし、鉄道外については「踏切」と「その他」に分けると、踏切、鉄道係員、自然災害の順に多い。踏切の多くは自動車との事故である。また、自然災害による事故は、大雨に伴う斜面や路盤の崩壊、地震、落石、強風によるものである。

事故発生間隔日数の分布について、図1の年度件数推移を考慮して1997年度前後で分けて図4、5に示す。発生間隔は鉄道の安全性、信頼性を評価する尺度と考えられる。1998年度以降では以前に比べて平均値が約100日長い。

重大事故の発生を確率過程と考えてモデル化するために、分布形状を考慮して指数分布、正規分布、対数正規分布に対する適合度を調べた結果、対数正規分布、指数分布に対して同じ程度に適合度が高かった。図4からも平均値と標準偏差が近く、指数分布の特徴を有していることを確認できる。指数分布の確率密度関数を以下に示す。

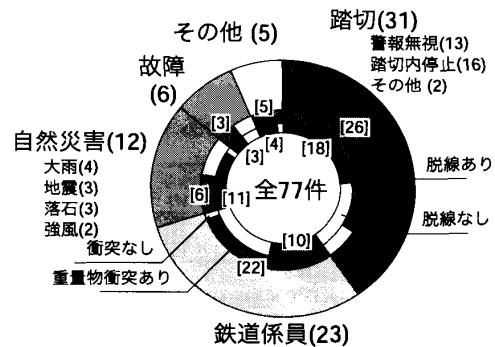


図3 重大事故原因

表2 JRとPRの重大事故の種類別件数、発生率の推移

	年度	列車衝突		列車脱線		踏切障害	
		JR	PR	JR	PR	JR	PR
件数	1987-1997	6	7	19	9	10	2
	1998-2005	1	4	4	6	1	0
発生率	1987-1997	0.55	0.64	1.73	0.82	0.91(1.73)	0.18(0.73)
	1998-2005	0.13	0.50	0.50	0.75	0.13(0.13)	0(0.38)
	t値	1.517	0.405	2.522	0.167	2.150	1.491

()内は列車脱線事故のうち踏切での自動車等への衝突が原因で脱線した事故を含む

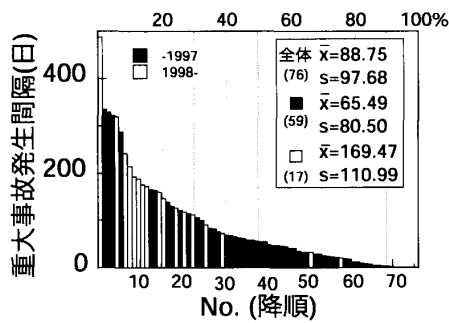


図4 重大事故発生間隔日数分布 (降順)

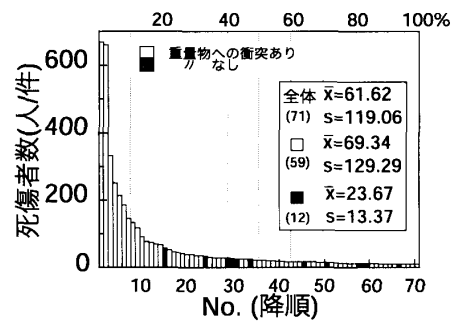


図6 重大事故死傷者数分布

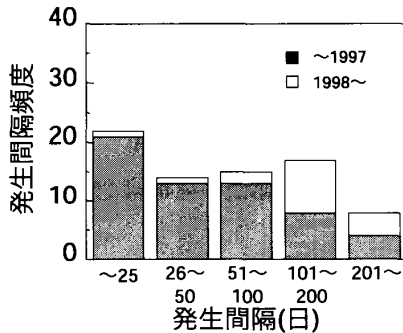


図5 重大事故発生間隔日数分布 (降順)

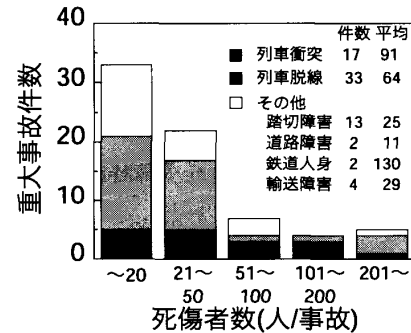


図7 重大事故の種類別死傷者数

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad (1)$$

パラメータの推定値 λ を用いると、発生間隔の期待値 ($1/\lambda$) は各々 89 (1987~2005 年度), 65 (~1997), 169 日 (1998~) のように得られる。このようにして、鉄道重大事故の発生過程はポアソン過程に従うと見做すことができる。

事故種類別には、列車衝突事故件数の半分は衝突防止装置の未設置箇所での事故であり、中小等事業者では正面衝突事故が多く、路面電車では追突事故が多い。事故防止のために自動列車停止装置等の衝突防止装置が多く事業者で設置されているが、営業キロに対する設置率は PR の路面電車では 19% (2003 年度) であり、JR (2003 年度設置率 100%) や大手 PR (同 99.5%) に比べて低い。防止装置が未設置の事業者は経営状態が厳しいことが多いことから、事業者間の格差が顕在化したものと考えられる。

列車脱線事故については、自然災害を原因とする事故の多くで脱線を伴うことから、鉄道事業者が沿線に設置した気象観測機器の測定データだけでなく、気象庁や自治体、民間等が設置した機器のデータを有効に活用し、災害発生の可能性が高い区間への列車進入を防止することが課題である。

踏切障害事故は、遮断機がない踏切では 1997 年度

以降では発生していない。遮断機がない踏切の数は年々減少していることから、踏切数の削減は事故件数の減少に貢献したと考えられる。また、踏切を原因とする事故は、いずれもトラック等の重自動車に衝突したものであることから、これらへの衝突防止は重大事故の発生防止には重要である。

2.2 被害状況とその要因[2]

鉄道重大事故のうち、脱線車両数の基準で重大事故に分類された 6 件を除外すると、全死傷者数 (4,383 人) のうちの 95% は乗客であり、96% は負傷者である。死傷者数の分布を重量物への衝突の有無で分けて図 6 に示す。多くの事故では死傷者数は 30 人/件以下であるが、100 人/件以上の事故が 13% ある。また、重量物への衝突を伴う事故では伴わない場合に比べて平均で 45 人/件多く、標準偏差は 10 倍異なる。つまり、重量物への衝突を伴う事故は大規模化する可能性が高いことから、重量物への衝突防止や衝突時の安全対策は人的被害を軽減する上で必須である。

事故種類別の死傷者数を図 7 に示す。死傷者数 21 人以上/件の事故では列車衝突、列車脱線事故の割合が高い。列車衝突事故のうちの 24%、列車脱線事故においては、大型トラック、駅ビル、マンションに列車が衝突した事故での死傷者数は 101 人以上/件であ

表3 死傷者数のパラメータ推定値

	事故種類			
	衝突	脱線		踏切
衝突	あり	あり	なし	あり
λ	0.011	0.014	0.043	0.038
$1/\lambda$	90.65	73.48	23.33	26.45

表4 支障時間のパラメータ推定値

	事故種類							
	全体		衝突		脱線		踏切	その他
脱線	あり	なし	あり	なし	あり	なし	なし	なし
λ	0.061	0.148	0.059	0.046	0.084	0.070	0.414	0.108
$1/\lambda$	16.51	6.74	16.92	21.92	11.92	14.32	2.42	9.28

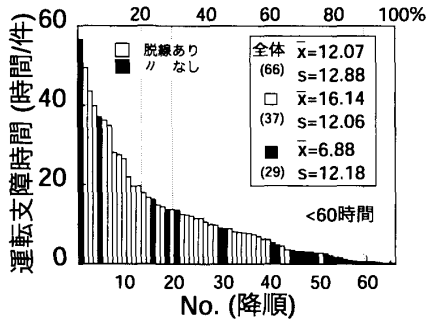


図8 重大事故運転支障時間分布

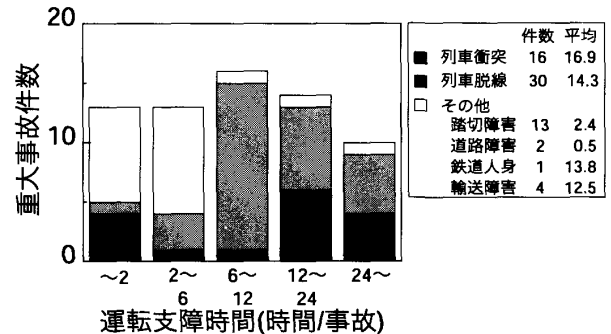


図9 重大事故の種類別支障時間

る。よって、列車衝突事故，列車脱線時の重量物への衝突の防止が死傷者数の抑制のためには重要である。

この分布についても確率分布に対する適合性を検討すると，指数分布への適合度が高い。よって，重大事故に伴う死傷者数は指数分布に従うと考えられる。

重量物への衝突の有無別にパラメータ λ を推定すると，期待値として $1/\lambda=69$ （衝突あり），24人（なし）を得られる。また，事故種類別にパラメータ λ を推定した結果（表3）からも重量物への衝突は死傷者数を増大させる可能性が高いことが分かる。

なお，死者数の分布については，幾何分布あるいはポアソン分布に従うと考えられる。

次に，重大事故による運転支障時間の分布を脱線の有無で分けて図8に示す。なお，支障時間が60時間以上の事故データ（11件）については除外した。15%の支障時間が24時間を超え，この範囲の分布形状は急峻である。よって，24時間を超えるような事故では支障時間が極めて長くなる可能性が高い。

また，脱線を伴う事故では伴わない事故に比べて平均で約10時間/件長い。脱線事故の復旧では脱線車両の載線作業等が必要であるためと考えられる。よって，脱線防止は支障時間の短縮に有効であるが，自然災害による脱線事故では災害箇所の施設等の復旧作業も必要であるため支障時間は長くなる可能性があることから，短時間で復旧技術の確立や代替輸送手段を迅速に確保できる体制作りが重要である。

事故種類別の支障時間を図9に示す。6時間以上/件の事故では列車衝突，列車脱線事故の割合が高い。

よって，これらの事故の防止は支障時間の短縮において有効である。

運転支障時間の分布についても確率分布への適合性を検討した結果，指数分布への適合度が高く，パラメータ λ を推定すると，期待値 $1/\lambda=12.07$ 時間を得る。また，脱線の有無を考慮すると，期待値は $1/\lambda=16.65$ （脱線あり），6.74時間（なし）を得る。つまり，脱線を伴う重大事故では伴わない事故に比べて支障時間が平均的に10時間長い。パラメータ λ を事故種類別に推計した結果（表4）から，平均値は列車衝突（脱線あり），列車脱線，列車衝突（脱線なし），その他（脱線なし），踏切障害事故の順に長く，脱線を伴う事故の方が長い。また，脱線を伴う列車衝突事故では，1日近くわたって運転支障が発生する。

3. 自然災害データ分析

3.1 発生構造とその要因

本節では，わが国における自然災害のデータベースの1つである理科年表[5]に収録された自然災害データ（1945～2004年）をもとに統計的データ解析を試みる。そして，自然災害の発生および被害の傾向や特徴とこれらに影響を与える要因を把握する。

自然災害は，台風，大雨，強風等の気象災害と地震，火山噴火等の火山災害の大きく2つに分けられ，ここでは理科年表に「日本のおもな気象災害」と「日本付近のおもな被害地震」として収録されているデータを分析する。収録基準は，気象災害については「死者・行方不明数（死者数等）の多いもの（～1950年：100

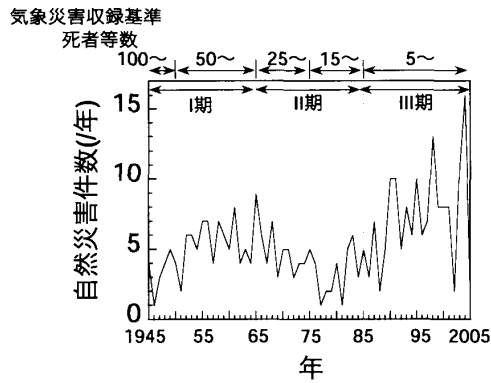


図10 自然災害発生件数の推移

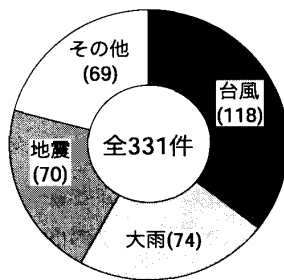


図11 災害種類の構成

人, 1951~1965年: 50人, 1966~1975年: 25人, 1976~1985年: 15人, 1986年~: 5人以上をめでにし, その他の被害も考慮した), 被害地震については「死者1名以上または家屋等の全壊1以上または津波規模1以上」とされている。

1945~2005年における自然災害(331件)件数の年別推移を図10に示す。ここでは, 災害の発生時期を1965年まで(I期), 1966~1985年(II期), 1986~2005年(III期)の3期に分けて分析する。I期には平均約5件/年の災害が発生した。II期ではI期に比べて収録基準の死者等数が少ないが, 平均約4件/年に減少した。III期では収録基準の死者等数がさらに少ないために平均約7件/年に増加し, この期の中では件数が年々増加の傾向にある。災害の種類(台風, 大雨, 地震, その他)の内訳(図11)は, 台風の割合が大きく, 大雨, 地震, その他ではほぼ同じである。

各期間における種類別の件数を図12に示す。各期において台風が最も多く, 他についてはII期までは地震, 大雨, その他の順に多かったが, III期ではその他, 大雨, 地震の順であった。収録基準に変更がない地震については, 期が進むに従って件数が減少しているが, 図13に示すように震度1以上の地震の発生回数はIII期にはむしろ増加する傾向にある。ただし,

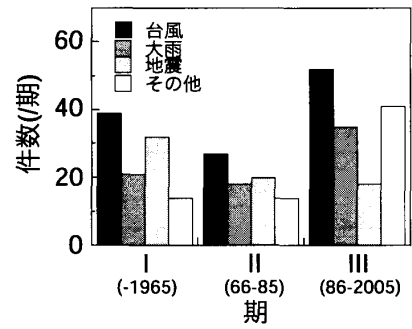


図12 災害種類の構成の推移

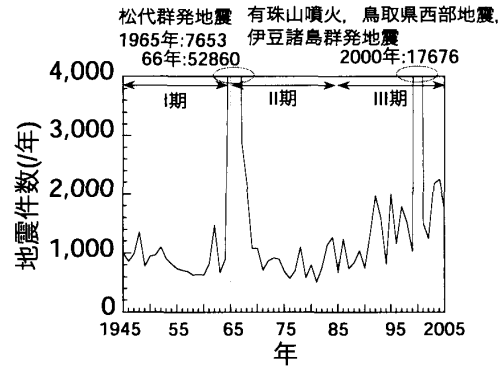


図13 地震の発生件数の推移

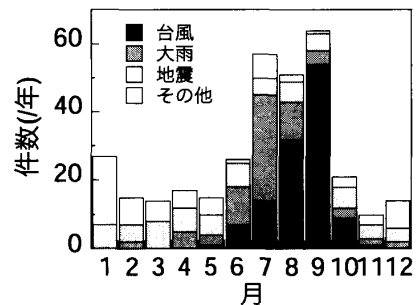


図14 災害の月別発生件数

これは1995年の阪神・淡路大震災の発生を受けて, 地震(特に震度)観測網の大幅な充実が図られたためによる増加と考えられる。しかしながら, 住宅等建築物の耐震性能の向上(1950年:建築基準法制定, 1981年:新耐震設計基準)により, 死者等数および全壊家屋数の収録基準に該当する地震が減少しつつある可能性が考えられる。

図14に各災害の月別発生件数を示す。台風と大雨の件数は4~10月に集中しているのに対し, 地震とその他には明確な傾向はない。気象災害の発生には季節的な要因が大きく影響すると考えられる。よって, 各年の発生件数を分析する。

災害種類別, 全種類の年間発生件数データの確率分

表5 年間発生件数分布のパラメータ推定値

	全体	台風	大雨	地震	その他
I期	5.05	1.86	1.00	1.52	0.67
II期	3.95	1.35	0.90	1.00	0.70
III期	7.30	2.60	1.75	0.90	2.05

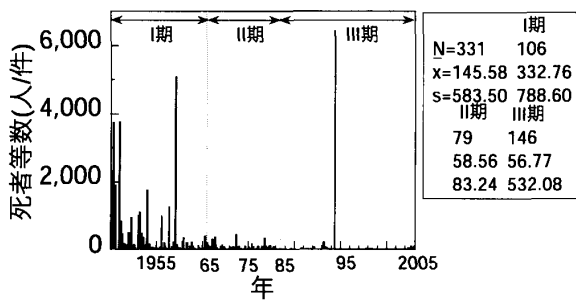


図15 自然災害死傷者数分布

表6 死者等数分布のパラメータ推定値

	全体	台風	大雨	地震	その他
I期	332.76	973.48	263.57	358.24	84.38
II期	58.56	94.50	96.15	13.70	26.95
III期	56.77	37.65	22.10	336.95	17.70

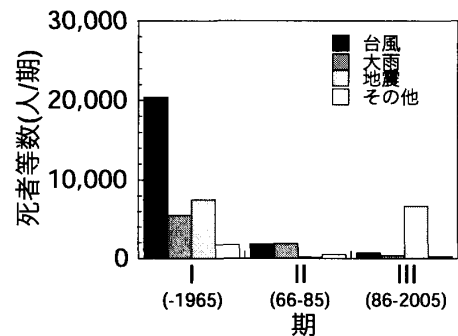


図16 種類別死者等数

布への適合度を調べた結果、ポアソン分布への適合度が高く、パラメータの推定値 $\hat{\lambda}$ として表5を得られ、これは期待値およびデータの平均値と同じである。この分布の確率密度関数は次の通りである。

$$f(x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!} \quad (2)$$

パラメータの推定値は、図12の結果を反映し、各期において台風の件数が多い。

3.2 被害状況とその要因

各災害において発生した死者等数を図15に示す。約90%の災害の死者等数は200人/件以下であるが、1,000人を超える死者等が発生した災害が約3%ある。これらは、ほとんどが1959年以前のものであるが、最も多いのは1995年に起きた阪神・淡路大震災の6,436人である。つまり、同震災は、この60年の災害史の中でも特に異例なものであったことが分かる。

種類別の死者等数を先述の3期に分けて図16に示す。死者等数はI期、III期、II期の順に多く、図12に示した件数の傾向 (III > I > II期) とは異なる。I期では、台風による死者等数が多いが、II期では台風と大雨によるものが同程度に多く、地震によるものが少ない。III期では地震によるものが突出しており、これは先述の阪神・淡路大震災のためである。

種類別には、台風および大雨による死者等数はI期からII期にかけて大きく減少した。この間は、テレビ放送の開始(1953年)および受信機の普及に代表されるように、通信および放送等の情報伝達手段が発達したり、気象衛星の運用が開始(1977年)され、建築物の強度が向上した時期であり、それらの効果によるものと考えられる。現在、台風は発生および移動を

確実に把握できる状況にあることから、台風に伴う洪水、山崩れ、高潮等の予測精度の向上が今後の課題である。

地震については、1948年の福井地震(3,789人)、1995年の阪神・淡路大震災が発生したI期およびIII期での死者等数が多い。活断層を震源とする地震を中心に省庁、自治体等で対策が検討されつつあるのは衆知のとおりである。

死者等数の分布はポアソン分布に対する適合度が高く、パラメータの推定値 $\hat{\lambda}$ として332.76 (I期)、58.56 (II期)、56.77 (III期)を得られ、これは期待値およびデータの平均値と同じである。種類別にパラメータ $\hat{\lambda}$ を推定した結果を表6に示す。I期およびII期では台風で大きい、III期では地震で大きい。このことは、図16に示した分布において認められた傾向と同じである。

4. 安全性向上策の検討

鉄道重大事故防止策としては、第一に、多くの死傷者が発生する可能性が高いのは、重量物との衝突を伴う事故であったことから、このような衝突の防止と衝突時の人的被害軽減策の検討が重要であるといえる。第二に、運転支障時間を短縮するためには、脱線の防止が有効である。特に、自然災害による重大事故では脱線を伴う割合が多い。よって、災害区間の発生を適切に予測あるいは検知し、列車を安全に停止させるシステムの構築が重要である。

自然災害に伴う被害の発生防止策としては、第一に、台風、大雨については、これらが引き起こす洪水、山

崩れ等に伴う人的被害の発生までの一連のイベントの発生を予測するための技術やその情報の提供方法、避難方法等の検討が重要である。第二に、地震については、10年単位での発生確率が活断層別に推定、評価されるようになったものの、これより短い期間単位での予測が難しい状況に変わらない。そのような中、2007年10月に緊急地震速報が気象庁から提供されるようになった。今後は実績を蓄積し、こうした情報の有効な活用法の検討が重要である。

この他にも、噴火警報および噴火予報が2007年12月から、また2008年3月から竜巻注意情報が気象庁から発表されるようになった等、自然災害による被害防止のための取組みが継続的になされている。

5. おわりに

本稿では鉄道重大事故と自然災害データを統計的に分析し、これらの発生と被害の傾向、特徴を把握した。いずれのデータについても、分析期間には安全性向上

のための取り組みは継続的に進んでおり、多岐にわたって実施された対策の効果を確実に把握する必要がある。よって、それらの影響、効果を考慮した上で、総合的な安全性向上策を検討することが実務上では重要である。

参考文献

- [1] 秋田雄志：安全は鉄道の「出発点」, RRR, pp.10-11, 1997.10
- [2] M. Miwa, B. Gozun and T. Oyama : Statistical data analyses to elucidate the causes and improve the countermeasures for preventing train accidents in Japan, International Transactions in Operational Research, Vol.13, pp.229-251, 2006.5.
- [3] 国土交通省鉄道局監修：数字でみる鉄道'90～2006, 財団法人運輸政策研究機構, 1990～2006.
- [4] 国土交通省鉄道局監修：鉄道統計年報, 政府資料等普及調査会, 1987～2006.
- [5] 国立天文台：理科年表, 丸善, 2007.