

スリランカにおける 2004 年インド洋津波被災地の復興過程調査報告 その6

- スリランカにおける 2004 年インド洋津波被災地の建物復興曲線 -

Post-Tsunami Reconstruction Process in Sri Lanka affected by 2004 Sumatra Tsunami, -Part 6- : Recovery Curves for Buildings in Sri Lanka after the 2004 Indian Ocean Tsunami

村尾修*・仲里英晃*

Osamu MURAO *・Hideaki NAKAZATO*

After the 2004 Indian Ocean Tsunami, the Sri Lankan Government provided three types of houses for the victims (temporary shelters, transitional houses, and permanent houses). The authors conducted several field surveys and interviews in the damaged area to understand the recovery conditions, and obtained data set, which had been collected for 13 months since December 2004 by Rebuilding and Development Agency. This paper discusses how to develop the recovery curves for recovery process and demonstrates the curves for the transitional houses and the permanent houses in Sri Lanka, which quantitatively describe regional differences in recovery process.

Keywords: 2004年スマトラ沖津波、スリランカ、建物復興曲線、恒久住宅、仮設住宅
2004 Sumatra Tsunami, Sri Lanka, recovery curve, permanent house, transitional house

1. はじめに

1-1. 研究の背景と目的

2004年12月にインド洋周辺諸国に甚大な被害をもたらしたスマトラ沖津波から3年が経過したインドネシアに次ぐ被害を受けたスリランカでは、死者・行方不明者は4万人を超えるといわれ、沿岸部を中心に被災戸数は約九万六千戸にのぼった¹⁾。被災地では、国土再建特別委員会(TAFREN: Task Force to Rebuild the Nation)、再建開発特別委員会(RADA: Rebuilding and Development Agency)、および家屋再建機構(THRU: Tsunami Housing Reconstruction Unit)の指導のもと、住宅再建事業が実施された。この再建事業は三段階に分けて進められ、被災後の経過に応じて、応急仮設テント(Emergency Shelter)、仮設住宅(Transitional House)、恒久住宅(Permanent House)が建設され、被災者に提供された²⁾。筆者らが調査を行った2007年3月現在、いくつかの課題を残しつつも被災者の生活は落ち着きを取り戻している³⁾。

筆者らは、スリランカ各地で展開されている住宅再建事業を数回にわたり調査し、スリランカの被災地ごとの復興状況の相違を明らかにしてきた⁴⁾。その違いを生み出した背景と復興施策の関係性を明らかにすることが将来の復興施策を検討するうえで重要であるが、一般論として地域ごとの復興過程の違いを定量的に把握するのは困難である。その理由としてはまず、復興という長期にわたる社会現象を観測し続け、復興過程を定量的に分析することが可能となるデータを入手することの困難さが挙げられる。次に、復興という多様な現象をどのような観点から定量化するかという難しさがある。第三に、それぞれ異なる社会的背景を持った地域ごとの復興過程を比較するために、どのような尺度を用いたらよいかという問題がある。筆者は、1999年台湾集集地震や2004年スマトラ沖津波災害の継続的な復興調査を通じて、被災者にとって最も重要な要素となる住宅再建のデータを入手・分析することにより、これらの問題に取り組んできた⁵⁾。こ

こではこれらの知見を活かし、これまでに報告したスリランカにおける復興過程⁴⁾を対象として、復興過程を普遍的に記述するための復興曲線を構築することを目的とする。

1-2. 既往研究と本研究の位置づけ

本研究はふたつの側面を持っている。ひとつは2004年スマトラ沖津波に関する復興研究という側面であり、もうひとつは復興過程を記述するための普遍的な方法論の構築に関する研究という側面である。

前者に関しては、復興という事象が多岐にわたることから、学会誌や国際会議等で様々な報告がなされている。しかしながら、筆者らの既往研究^{3), 4), 6)}のように各地の再建状況を比較している研究は少ない。復興曲線に関する研究としては、例えば新国民生活指標(PLI)を用いた手法を提案している柄谷ら⁷⁾や、アンケート調査に基づく復興カレンダーという概念を提案している木村ら⁸⁾による研究がある。そのような中で、筆者は1999年台湾集集地震により被災した集集を対象として、都市の物的環境としての住宅再建過程を記述する復興曲線⁹⁾を提案している。本研究は、スリランカの復興状況のデータを用いて、集集での復興曲線作成の試みをより発展させるものである。

2. 研究の方法

スリランカの復興過程を記述する復興曲線を構築するために、以下の手順で実施する。

2-1. 使用データ

本研究では、被災者にとって最も重要な復興要素のひとつである住宅を対象として復興曲線を構築する。そのために、仮設住宅と恒久住宅の建設状況データを使用する。まず仮設住宅⁶⁾に関しては、RADAが集計し、まとめたProgress Report^{9), 10)}のデータを用いる。このデータの集計期間は2005年3月31日から2006年2月28日で、地区ごとの仮設住宅必要戸数、建設契約戸数、建設途中戸数、完成戸数が一週間単位で集計されたものを月単位の

*正会員・筑波大学大学院システム情報工学研究科 (Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba)

データに整理し、用いた。また恒久住宅に関しては既往研究、TAFREN が2006年3月10日に公表した「Construction Status Donor Built Housing Projects」を用いる。この資料には被災地域の全住宅建設地の建設場所、支援しているドナー、用地所有者、建設戸数、住宅タイプ、建設開始日、建設進行状況(基礎・外壁・屋根・完成・被災者の入居)が記されている。既往研究⁴⁾ではこのデータを用いて被災地の復興状況の相違を報告しているが、ここでも恒久住宅の復興曲線を構築するために同データを使用する。

2-2. 復興率の算出

復興曲線を構築するうえで、被災規模の異なる地域の復興状況を基準化する必要がある。そのため、時間軸を月単位として算出した復興率に基づき分析を行うこととする。ここでは、各時点での建設完了建物数を、建設状況がほぼ安定してきた2006年2月時点での建設竣工建物数で除した値を復興率(建物竣工率)と定義する。

2-3. 復興曲線の選択

建物の建設竣工数の累積値は時間軸に沿ったシグモイド曲線で表せると仮定し、累積正規分布曲線、ロジスティック曲線、そしてゴンペルツ曲線の中から、最も観測値とフィッティングの良い曲線を選定する。

2-4. 復興曲線の構築

復興状況データを選定された分布曲線に近似させ、仮設住宅と恒久住宅に関する復興曲線を構築する。

3. スリランカにおける仮設住宅と恒久住宅の竣工状況

地区ごとの仮設住宅と恒久住宅の竣工状況を表1表2に示す。これらの表は前述したデータに基づく月単位の住宅竣工戸数の累積値の変化を示している。スリランカ政府は各地の被災状況等を考慮し、事前に必要戸数を提示した。しかしながら、被災後の地区ごとの状況により、必要戸数と比較して過不足が生じている。その推定必要戸数に満たなかった地区は6地区であり、それらについては表中に色を着けて示している。また国全体の合計値に基づく仮設住宅と恒久住宅竣工の推移を図1、図2に示す。

仮設住宅に関しては、被災からおよそ3ヶ月が経過した2005年3月に最初の住宅群が竣工し、その後順当に竣工数は伸びているが、2005年8月頃から増加率は減少し、同年12月以降は著しい変化は見られなくなっている⁴⁾。また復興住宅に関しては、仮設住宅の最初の竣工よりもひと月遅い2005年4月に一部が竣工している。その後徐々に増加しつつ2006年に入り、安定しつつある。

4. シグモイド曲線への近似による復興曲線の選定

次にデータを用いて、仮設住宅と恒久住宅の復興曲線に適した近似曲線を選定する。復興曲線は被災後の経過時間と復興率の関係がS字型の曲線(シグモイド曲線)を描くと仮定し、累積正規分布曲線、ロジスティック曲線、そしてゴンペルツ曲線の中から、最も観測値とフィッティングの良い曲線を選定することにした。

4-1. 建物復興関数構築の方法

表1 スリランカ各地の仮設住宅竣工状況

	Ampara	Batticaloa	Trincomalee	Galle	Matara	Hambantota	Colombo	Gampaha	Kalutara	Jaffna	Kilinochchi	Mullaitivu	国全体
2004年 12月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005年 1月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3月	3,463	1,598	336	814	882	965	433	0	0	0	0	0	8,491
4月	8,053	3,952	1,718	2,665	1,280	1,243	837	0	657	1,859	0	578	22,842
5月	10,297	5,774	2,916	3,584	1,802	1,391	963	0	1,160	2,659	295	2,017	32,858
6月	12,054	8,166	3,781	4,384	2,349	1,529	1,025	0	1,571	2,659	295	2,124	39,937
7月	15,255	9,232	5,015	5,374	2,531	1,639	1,099	0	1,653	3,267	295	2,124	47,484
8月	16,742	10,172	5,848	5,561	2,545	1,694	1,226	34	1,653	3,267	295	2,124	51,161
9月	17,202	11,042	6,068	5,561	2,712	1,698	1,334	56	1,653	3,267	295	2,124	53,012
10月	17,202	11,588	6,184	5,561	2,732	1,698	1,342	56	1,653	3,267	295	2,124	53,702
11月	17,529	12,345	6,225	5,561	2,732	1,698	1,352	56	1,661	3,333	295	2,124	54,911
12月	18,491	12,345	6,255	5,561	3,234	1,780	1,366	56	1,661	3,333	325	2,124	56,531
2006年 1月	18,491	12,447	6,255	5,561	3,234	1,780	1,366	56	1,661	3,333	390	2,124	56,698
2月	18,491	12,525	6,307	5,561	3,234	1,780	1,366	56	1,661	3,333	390	2,124	56,828
推定必要戸数	10,566	10,055	4,643	6,169	2,401	1,290	3,397	206	2,671	3,395	576	2,124	47,493

部分は各事情により推定必要戸数に達していない地区

表2 スリランカ各地の恒久住宅竣工状況

	Ampara	Batticaloa	Trincomalee	Galle	Matara	Hambantota	Colombo	Gampaha	Kalutara	Jaffna	Kilinochchi	Mullaitivu	国全体
2004年 12月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005年 1月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4月	0	0	100	79	0	79	0	0	38	0	0	100	396
5月	753	0	100	220	54	1,634	0	204	57	0	0	100	3,122
6月	947	0	245	1,225	184	2,726	16	204	657	0	0	100	6,304
7月	1,658	129	623	1,717	796	4,180	337	226	746	40	143	100	10,695
8月	2,886	171	831	1,945	1,378	4,235	337	246	853	923	143	100	14,048
9月	3,311	508	2,340	2,411	1,541	4,335	385	246	1,120	1,324	773	100	18,394
10月	3,725	1,107	2,986	2,706	1,789	4,485	561	326	1,360	3,689	773	100	23,607
11月	3,775	1,907	3,615	2,914	1,938	4,575	561	326	1,548	3,849	1,183	100	26,291
12月	3,982	1,907	3,698	2,975	2,214	4,575	561	326	1,802	3,849	1,183	100	27,172
2006年 1月	3,982	1,987	3,937	2,975	2,305	4,575	673	326	2,014	3,849	1,237	100	27,960
2月	4,012	2,199	3,937	3,087	2,345	4,575	689	326	2,233	3,939	1,237	100	28,679
推定必要戸数	7,236	1,458	3,428	2,213	1,032	3,107	5,112	643	2,179	3,275	288	0	29,971

部分は各事情により推定必要戸数に達していない地区

建物復興関数構築のために用いる被災後の月数は、地震により被災した2004年12月を0月目、その翌月の2005年1月を1月目とし、提供されたデータの最終月2006年2月(14日目)まで

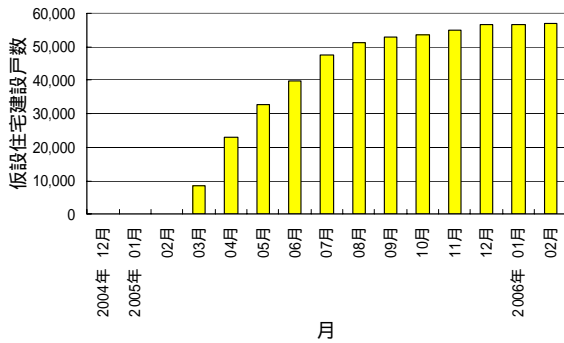


図1 スリランカ国内の仮設住宅竣工の推移

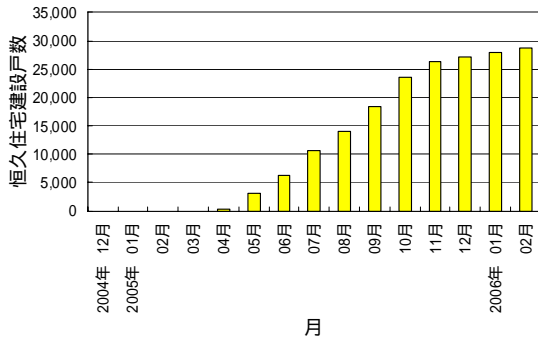


図2 スリランカ国内の恒久住宅竣工の推移

を対象期間とした。また復興率(建物竣工率)は2章で記したとおり、対象期間までの全建築棟数を母数として算出した。ここで求めた被災後の月数と建物竣工率の関係から、建物復興推定式を求め、復興曲線を次のように作成する。

被災の影響が著しく低減し、復興後の建設状況がある程度安定するようになったある時点T(ここではT=14)を基準として、被災後経過月数*t*のときの建物復興率*R(t)*は、以下の三つのシグモイド曲線により表せると仮定した。

累積正規分布曲線

$$R(t) = \Phi((t - \lambda) / \zeta) \quad [1]$$

ロジスティック曲線

$$R(t) = \frac{1}{1 + a \exp(-bt)} \quad [2]$$

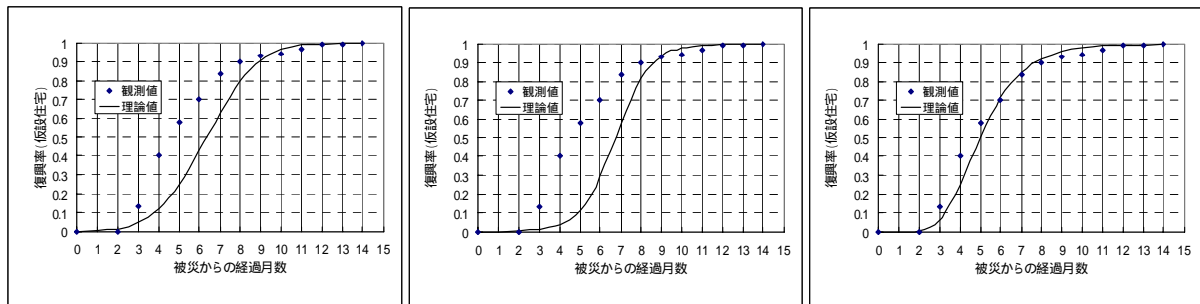
ゴンペルツ曲線

$$R(t) = a^{b^t} \quad [3]$$

は標準正規分布の累積確率分布関数 $\Phi(t)$ を用いて正規分布で表せると仮定したもので、係数 λ は、*t*の平均値および標準偏差であり、確率紙を用いた最小二乗法により求めた。また a, b は曲線ごとの定数となる。

4.2. シグモイド曲線への近似

近似により得られた仮設住宅と恒久住宅のシグモイド曲線を図3と図4に示す。仮設住宅は図3cのようにゴンペルツ曲線が、

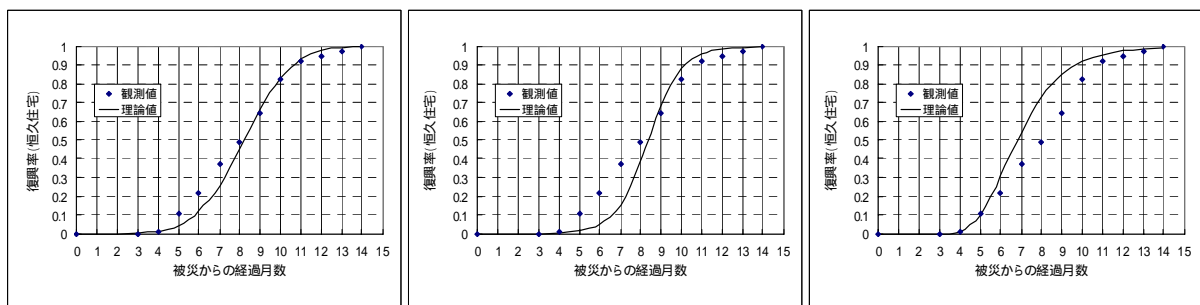


a. 累積正規分布曲線

b. ロジスティック曲線

c. ゴンペルツ曲線

図3 ゴンペルツ曲線への近似による仮設住宅の復興曲線



a. 累積正規分布曲線

b. ロジスティック曲線

c. ゴンペルツ曲線

図4 ゴンペルツ曲線への近似による恒久住宅の復興曲線

表3 建物復興曲線の回帰係数

	仮設住宅(ゴンベルツ曲線)					恒久住宅(累積正規分布曲線)			
	a	b	λ	R^2	K	λ	ζ	R^2	K
Ampara	1.06E-10	0.487	4.9	0.953	1.00	7.8	1.751	0.941	0.55
Batticaloa	5.21E-12	0.504	5.3	0.952	1.00	9.8	1.797	0.876	1.00
Trincomalee	2.14E-12	0.484	5.0	0.931	1.00	8.5	1.757	0.950	1.00
Galle	2.3E-12	0.409	4.1	0.966	0.91	7.9	1.879	0.944	1.00
Matara	1.31E-08	0.530	5.1	0.946	1.00	8.6	1.794	0.949	1.00
Hambantota	4.23E-06	0.495	4.1	0.866	1.00	6.3	1.347	0.936	1.00
Colombo	0.000165	0.583	4.7	0.928	0.41	8.9	1.814	0.893	0.13
Gampaha	-	-	-	-	-	6.4	1.369	0.806	0.51
Kalutara	9E-07	0.482	4.1	0.888	0.63	8.9	2.059	0.915	1.00
Jaffna	7.3E-06	0.527	4.4	0.885	1.00	9.0	1.613	0.871	1.00
Kilinochchi	2.55E-05	0.645	6.2	0.812	0.68	8.9	1.620	0.862	1.00
Mullaitivu	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	3.36E-11	0.489	5.0	0.924	1.00	8.2	1.878	0.962	1.00

また恒久住宅は図4aのような累積正規分布曲線が、最も良くフィッティングした。これらの結果から、各地区の仮設住宅の復興曲線にはゴンベルツ曲線を、恒久住宅の復興曲線には累積正規分布曲線を採用することにした。

5. スリランカにおける復興曲線の構築

ここでは、各地区における被災後の建物復興関数を求める。

4の結果に基づき、各地区の仮設住宅の竣工状況をゴンベルツ曲線に、また恒久住宅の竣工状況を累積正規分布曲線に近似させ、建物復興曲線を導いた。ただし、表1、表2のように一部の地区では当初予定していた推定必要戸数に達していない状況が見られ、それらを復興曲線でも示すようにするため、次式のようにその比率を上限值 K として乗じた。式[4]は恒久住宅を対象とした累積正規分布曲線を、式[5]は仮設住宅を対象としたゴンベルツ曲線を構築するために用いた。またゴンベルツ曲線の確率密度分布は式[6]のようになる。

$$R(t) = K \cdot \Phi((t - \lambda) / \zeta) \quad [4]$$

$$R(t) = Ka^{b^t} \quad [5]$$

$$P(t) = Ka^{b^t} b^t \cdot \log a \cdot \log b \quad [6]$$

こうして得られた建物復興曲線の回帰係数を表3に示す。また各被災地の位置図と平均竣工時期を示したものを図5に、建物復興曲線を図6に、そして確率密度分布を図7に示す。なおGampahaとMullaitivuは観測データが少なく、復興曲線を構築するのが不適切であると判断し、対象からはずした。政治情勢の不安定な北部および東部では竣工時期が遅く、南部では早く、地域の状況を定量的に示すことができた。構築された仮設住宅および恒久住宅の建物復興曲線は、その観測値と高い相関が見られ、妥当な曲線が得られたと言える。

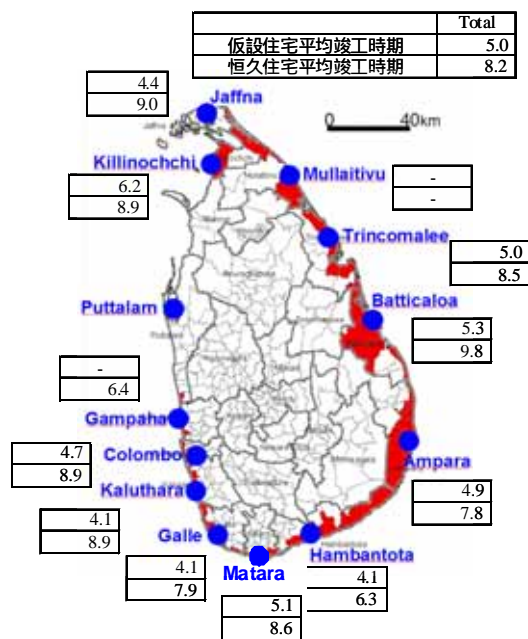


図5 スリランカの被災地と平均竣工時期

6. まとめ

本研究では、被災後の復興状況を地域の物的環境という観点から定量的に記述する建物復興曲線を構築した。その結果、仮設住宅の建設状況はゴンベルツ曲線が、また恒久住宅の建設状況は累積正規分布曲線が最も適切に近似できることが明らかになった。次に、これらの曲線を用いて、スリランカ各地と国全体を代表する建物復興曲線を導き、仮設住宅と恒久住宅の復興過程から、その違いを定量的に明らかにした。ここで示した建物復興曲線構築の過程は、被災後の復興過程を定量的に記述し、社会的背景の異なる地域間の比較を行ううえでの汎用的な方法論となり得る。例えば、スマトラ沖津波により被災した各国の復興過程を本方法を用いて記述することにより、その違いが定量的に評価され、今後の復興計画や施策に資することができる。ただし、課題も残っている。まず復興曲線を構築するためのデータ入手の問題である。長期にわたる建設過程のデータを個人の定点観測により取得す

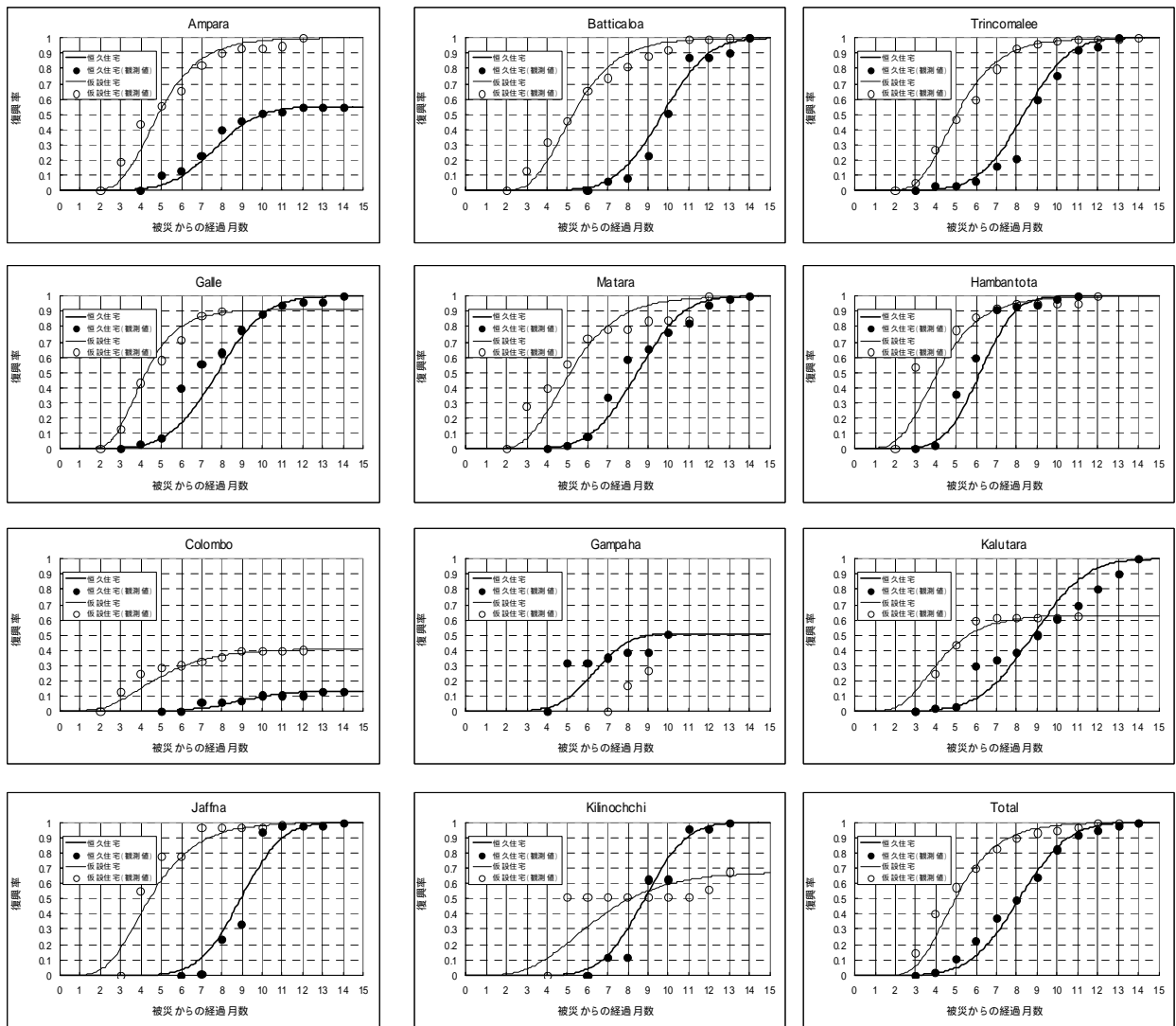


図6 スリランカ被災地の建物復興曲線

るのは莫大なコストがかかる。行政機関が管轄している統計データを手でできれば良いが、そのためには適切なアプローチが必要である。また必ずしも行政機関がそれらを把握しているわけではない。第二に、復興率を算出するための母数設定の問題がある。本研究では、竣工がほぼ安定してきた時期を設定し、それに基づき算出しているが、自助により住宅を再建している個人世帯が復興過程の大半を占めている場合には、その基準について検討する必要がある。

補注

(1) 各地区の傾向と課題については既往研究 4), 6) を参照されたい。

参考文献

1) Department of Census and Statistics (2005), Census of Persons, Housing Units and Other Buildings affected by Tsunami, 26th December 2004
 2) Ministry of Finance and Planning and the Reconstruction & Development Agency (RADA) (2006), Post-Tsunami Recovery and

Reconstruction

3) 仲里秀晃, 村尾修 (2007), スリランカにおける 2004 年インド洋津波被災地の復興過程調査報告 その 5 - 住宅再建指針の改訂と 2007 年 3 月時点における被災地の復興状況 -, 都市計画報告集 No.6-1 (CD-ROM), 22-27, 日本都市計画学会
 4) 仲里英晃, 村尾修 (2006), 2004 年スマトラ沖津波後のスリランカにおける恒久住宅建設過程の地域間比較, 都市計画論文集 No.41-3, 689-694, 日本都市計画学会
 5) Murao, O., Mitsuda, Y., Miyamoto, A., Sasaki, T., Nakazato, H., and Hayashi, T. (2007), Recovery Curves and Digital City of Chi-Chi as urban recovery digital archives," Proceedings of the 2nd International Conference on Urban Disaster Reduction (CD-ROM), Taipei, Taiwan
 6) 仲里秀晃, 村尾修 (2007): スリランカにおける 2004 年インド洋津波被災地の復興過程調査報告 その 4 - 各地における仮設住宅建設の推移 -, 都市計画報告集 No.5-4 (CD-ROM), 109-112, 日本都市計画学会
 7) 柄谷友香, 林春男, 河田恵昭 (2000), 神戸市社会統計を利用した阪神・淡路大震災後の生活再建指標 (RI) の提案, 地域安全学会論文集, No. 2, 213-222, 地域安全学会

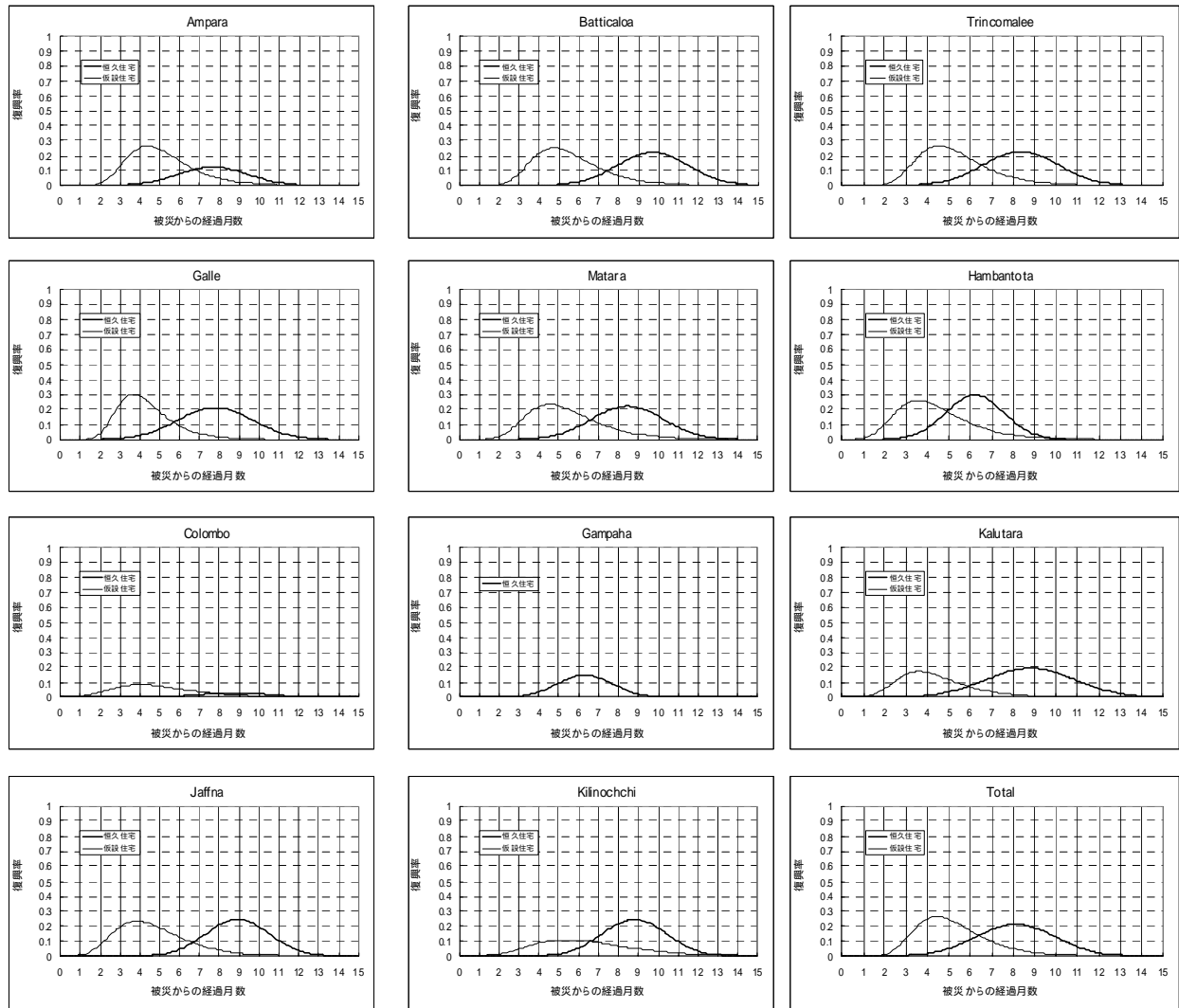


図7 スリランカ被災地の確率密度分布

- 8) 木村玲欧, 林春男, 立木茂雄, 田村圭子 (2004): 被災者の主観的時間評価からみた生活再建過程, 地域安全学会論文集, No.6, 241-250, 地域安全学会
- 9) RADA (2005), Progress Report
- 10) RADA (2006), Progress Report

謝辞

本稿は、「文部科学省振興調整費（我が国の国際的リーダーシ

ップの確保）スマトラ型巨大地震・津波被害の軽減策 地域特性を考慮した防災都市再開発計画・都市復興計画の研究と提案（研究代表者：筑波大学 村尾修）」の一環として実施した調査に基づく研究成果である。資料の提供および調査に協力して下さった Central Engineering Consultancy Bureau の Nihal Rupasinghe 氏をはじめとする政府関係者、被災者の方々、ならびに通訳の Navinda de Silva 氏に対し、記して謝意を表する。