

# 超高層ビルにおける震災時の負傷者対策に関する研究

DB13200 塚本 帆南

## 1. 研究の背景と目的

近年、超高層ビルが都市部を中心に増加しており、高層階で多数の人々が活動している。一般に地震発生時、高層階になる程、揺れが大きくなり、負傷者が発生するリスクは高い。

東日本大震災で都内のエレベーター閉じ込めの救出に最大9時間以上かかった事例<sup>1)</sup>もあることから、傷病者を高層階から地上階へ搬送する場合、階段を使用すると予想される。また、様々な器具を使用した搬送が考えられる。

既往の研究では介助者による車いす使用者の階段降下<sup>2)</sup>や介助を前提とした病院入院患者の担送避難<sup>3)</sup>において、いずれも階段1層分の降下実験は行われている。また、海外の大学病院で階段避難車を使用した11階層分の降下実験<sup>4)</sup>を行われ、階段避難者の有効性が示されている。

しかし、日本の超高層ビルに階段避難車の設置台数は少なく、一般に設置されている搬送器具での多数階の階段降下実験に関する研究は見受けられないため実験を行った。一般に設置されている搬送器具を用いて超高層ビルの階段降下搬送実験を行い、搬送器具の適応性を目的とする

## 2. 実験方法

### 2.1 実験概要

本実験は一般に設置されている搬送器具を用いて超高層ビルの階段降下搬送実験を行い、搬送器具の適応性を評価した。搬送概要は表1に示す。2016年8月10日と9月23日に実験を行った。以降、8月10日の実験を第1回実験、9月23日の実験を第2回実験とする。地上29階建ての工学院大学新宿キャンパス東側直通階段を使用した。第1回実験は降り畳み担架(以降、担架とする)と毛布を使用した応用担架(以降、毛布担架とする)を使用して、第2回実験は担架、ブルーシートを使用した担架(以降、ブルーシート担架とする)と簡易軽量折り畳み担架(以降、布担架とする)を使用した実験に使用した階段室寸法を表2、階段室図面を図1に示す。

### 2.2 実験条件

実験条件を表3に示す。負傷者設定は第1回実験では「訓練用小人形コウタロー」160cm、36kgを使用した。第2回実験では「レスキューマネキン」165cm、48kgに追加荷重を前面に旧妊産婦キット錘7kg、背面に新妊産婦キット錘5kgを紐で固定し、総重量を60kgとした。

### 2.3 搬送者条件

本実験に参加した搬送者は20歳から69歳の男女である。搬送者は事前練習として第1回実験では水平面、第2回実験では1階層の階段降下練習を行い、実験を行った。

表1：実験概要

実験概要	第1回実験	第2回実験
日時	2016年8月10日 13時-17時	2016年9月23日 13時-17時
場所	工学院大学新宿キャンパス 東側直通階段室	
使用階	1-29階	11-29階
使用器材	折り畳み担架 毛布	折り畳み担架 ブルーシート 簡易軽量折り畳み担架

表3：実験条件

実験条件	第1回実験	第2回実験
搬送班交代	有	無
搬送者位置交代	無	有
搬送中休憩	無	有
搬送指導	有	無
搬送練習	水平面 移動	1階層 階段降下
負傷者役人形重量	36kg	60kg
負傷者役人形身長	160cm	165cm

表2：階段室寸法

階	1-2	2-10	10-11	11-14	14-16	16-17	17-21	21-22	22-28	28-29
階段 段数	27	25	20	22	26	22	28	20	21	
階段 高さ(mm)	4671	4325	3920	4312	5122	4224	5488	3920	4158	
階段 幅(mm)	1225		1270							
踊り場幅 (mm)	1270									
階段 蹴上 (mm)	173		196	197	192	196	198			
階段 踏面(mm)	260		250							

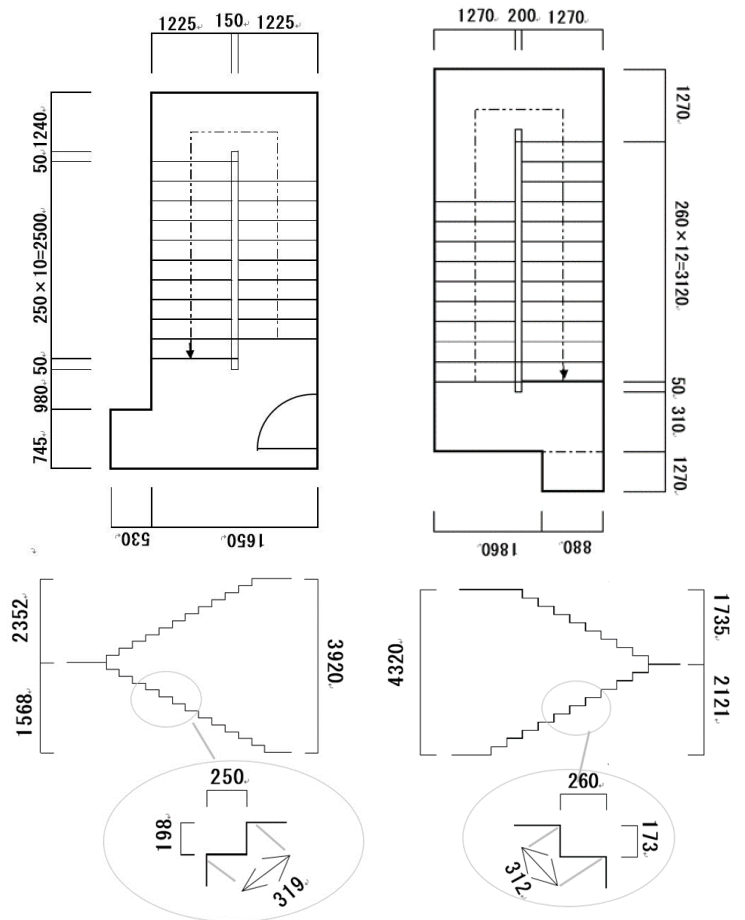


図1：実験使用階段室 図面 (左図28階、右図11階)

表 4：搬送者詳細データ一覧

班	No.	性別	年齢	身長 (cm)	体重 (kg)	班	No.	性別	年齢	身長 (cm)	体重 (kg)
経験者上級班 (1.1班)	A	男性	62	162	54	未経験者班 (2.1班)	a	男性	21	175	60
	B	男性	65	164	66		b	男性	21	180	68
	C	男性	69	175	82		c	男性	20	163	49
	D	男性	65	163	64		d	男性	22	157	53
	E	男性	50	185	90						
経験者中級班 (1.2班)	F	男性	48	166	67	経験者中級班 (2.2班)	e	女性	28	161	77
	G	女性	28	161	77		f	男性	69	169	67
	H	男性	63	162	59		g	男性	54	166	80
	I	男性	69	176	70		h	男性	67	160	80
未経験者班 (1.3班)	J	女性	67	153	59	経験者と未経験者班 混合班 (2.3班)	i	女性	22	160	54
	K	女性	21	168	50		j	男性	23	176	65
	L	女性	21	160	54		k	男性	22	171	67
	M	男性	21	181	67		l	男性	21	163	57
未経験者班 (2.4班)	N	男性	20	172	65	未経験者班 (2.5班)	m	男性	20	172	62
	O	男性	22	176	65		n	男性	20	174	57
	p	男性	20	174	57		o	男性	63	162	59
	q	男性	69	175	80		r	男性	20	177	95
	r	男性	66	163	65		s	男性	20	168	62
	s	男性	20	177	95		t	男性	23	171	63
	t	男性	20	174	57		u	女性	22	165	52
	u	女性	69	175	80		v	女性	22	164	43
v	女性	66	163	65	w	男性	45	175	74		
w	男性	20	177	95	x	男性	69	169	67		
x	男性	20	168	62	y	男性	63	162	59		

搬送者として第 1 回実験は日本赤十字社東京都支部ボランティア 10 名、工学院大学学生 5 名、指導監修者 3 名、記録者 2 名の計 20 名で行われた。第 2 回実験は日本赤十字社東京都支部ボランティア 7 名、工学院大学学生 16 名、指導監修者 2 名、記録者 3 名の計 24 名で行われた。担架搬送の経験を元に搬送者を経験者上級、経験者中級、未経験者に分類して、班を構成した。搬送者の構成は表 4 に示す。

2.4 実験手順

第 1 回実験の担架搬送は 1 班 5 名の経験者上級班(以降、1\_1 班とする)、経験者中級班(以降、1\_2 班とする)、未経験者班(以降、1\_3 班とする)の 3 班で行った。搬送実験中の安全指導と搬送方法の指導は行いながら 1\_1、1\_2、1\_3 班の順に踊り場で搬送者が 1 人でも交代したいと申し出た場合、班を交代した。実験中に搬送者がこれ以上の搬送は難しいと判断した場合、実験を終了した。担架搬送実験の終了後、同様に毛布担架の実験を行った。毛布担架は 1\_1 班に F、1\_2 班に G、1\_3 班に H が加え、1 班 6 名で実験を行った。

第 2 回実験は 1 班 4 名の未経験者班(以降、2\_1 班)、経験者中級班(以降、2\_2 班とする)、5 名の経験者と未経験者混合班(以降、2\_3 班とする)の順で 3 班が担架搬送実験を行った。6 名の未経験者班(以降、2\_4 班とする)はブルーシート担架の搬送実験を行った。未経験者班(以降、2\_5 班とする)は布担架の搬送実験を行った。搬送実験中の安全指導は行いが搬送方法の指導はしなかった。実験中に、搬送者は休憩が必要であると申告した場合に、休憩を取った。休憩を取りながら階段降下搬送を行い、一人でも搬送は難しいと判断した場合、実験を終了した。

2.5 評価方法

搬送者のアンケート結果 ①主観的運動強度 (RPE) の申告 ②疲労部位の申告③階段降下搬送の難易度申告④本実験の感想) とビデオ映像から搬送時間、搬送練習前の安静時心拍数と握力、実験後の実験後心拍数と握力を基に搬送速度、搬送負荷等を評価した。アンケート項目については表 5 に示す。

搬送距離は階段幅、踊り場の中心を通ると仮定した。階段、踊り場旋回の距離を計算し、前方の搬送者 2 名が階段を降下開始時と踊り場に足が到着した時点を測定した。

主観的運動強度 (Rate of Perceived Exertion) とは運動強度の指標として、強度に対する感覚を心拍数の 1/10 の尺度に対応させた心理的な尺度表が RPE 尺度表である。RPE 尺度表を表 6 に示すように「疲労困憊」を 20、「非常にきつい」を 19、「かなりきつい」を 17、「きつい」を 15、「ややきつい」を 13、「楽である」を 11、「かなり楽である」を 9、「非常に楽である」を 7、「安静時状態」を 6 としている。最大心拍数 (220-年齢) と安静時心拍数からカルボーネン法【目標心拍数 = {(220-年齢)-安静時心拍数} × 0.25~1+安静時心拍数】を用い、主観的運動強度と実験後心拍数との比較に使用した。

表 5：アンケート項目

調査対象	実験に参加した搬送者全員 (38人回答)
構成	搬送者属性 性別、年齢、身長、体重、安静時心拍、実験日の体調
	搬送方法別の搬送時の自覚的運動強度 搬送時に最も疲労した疲労部位
	アンケート項目 搬送方法別の水平搬送経験、階段降下搬送経験、階段上昇搬送経験 各搬送方法ごとの搬送難易度、本実験の感想

表 6：RPE 尺度表

尺度	自覚度	心拍数 (拍/分)
20	疲労困憊	200
19	非常にきつい	190
18		180
17	かなりきつい	170
16		160
15	きつい	150
14		140
13	ややきつい	130
12		120
11	楽である	110
10		100
9	かなり楽である	90
8		80
7	非常に楽である	70
6		60

3. 実験結果

3.1 第 1 回実験結果

担架搬送は経験者上級班の 1\_1 班が 29 階から 23 階までの 59m を 385.6 秒で搬送し、経験者中級班の 1\_2 班と交代した。1\_2 班は 23 階から 15 階までの 84.8m を 518.9 秒で搬送し、未経験者班の 1\_3 班に交代した。1\_3 班は 15 階から 1 階の 159m を 487.3 秒で搬送した。担架搬送実験後は安静時心拍数より平均で 22% の心拍数増加で、主観的運動強度全体平均は 14、班平均は 1\_1、1\_2、1\_3 班の順に 18、14、15 (標準偏差 0.2、0.18、0.8) であった。実験後は平均 12% の心拍数増加で握力は担架実験後が実験前握力より平均で 5% の握力低下であり、担架で搬送者が最も疲労を感じた部位は前腕で腕に対する負荷を感じることがわかった。

担架に対する搬送難易度は回答者の約 33% ずつ「どちらか」というと難しい、「どちらか」といえないが多く、次に約 13% ずつが「難しい」、「どちらか」というと易しい」と回答した。

毛布担架は1\_1班が29階から27階までの19mを約120秒で搬送し、1\_2班に交代した。1\_2班は27階から24階までの31mを約60秒で搬送し、1\_3班に交代した。1\_3班は24階から20階までの43mを約150秒で搬送した。毛布担架の主観的運動強度全体平均は16、班平均は1\_1, 1\_2, 1\_3班の順で15, 16, 16(標準偏差 0.26, 0.17, 0.26)であった。握力は毛布担架実験後が実験前握力より平均9%の低下が見られ、毛布担架で最も疲労を感じた部位は他の部位を卓越して12名が手掌であった。毛布担架に対する搬送難易度は回答者の約53%が「難しい」が多く、次に約13%ずつが「難しい」、「どちらともいえない」、「易しい」と回答した。第1回実験の搬送距離と時間のグラフは図2, 実験時心拍数、主観的運動強度、運動強度を図3, 毛布担架の実験時心拍数、主観的運動強度、運動強度を図4, 第1回実験の身体疲労部位を図5, 第1回実験搬送難易度は図6に示す。

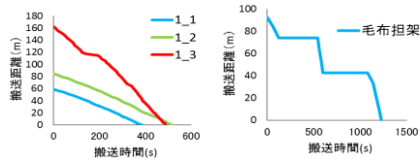


図2：第1回実験担架搬送時

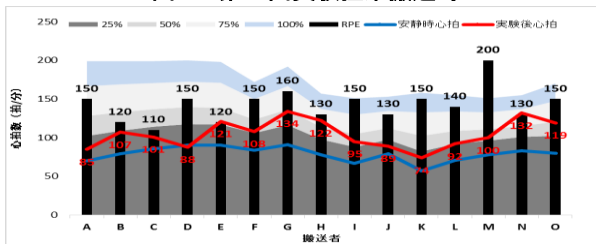


図3：第1回実験担架 主観的運動強度

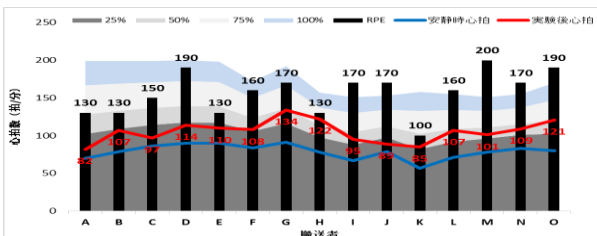


図4：第1回実験毛布担架 主観的運動強度

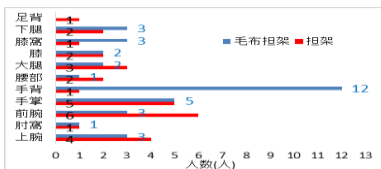


図5：第1回実験 身体疲労部位

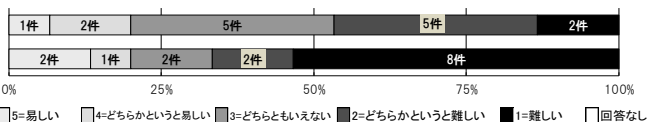


図6：第1回実験 搬送難易度

### 3.2 第2回実験結果

搬送者4名で未経験者の2\_1班は29階から11階までの190mを1839秒で搬送し、搬送者4名で経験者中級の2\_2班は

29階から20階まで95mを1026秒、搬送者5名の経験者と未経験者混合の2\_3班は29階から11階まで190mを930秒で搬送した。搬送者6名の未経験者2\_4班はブルーシート担架で29階から19階まで106mを930秒、搬送者6名の未経験者の2\_5班は布担架を29階から11階までの190mを1142秒で搬送した。実験後は安静時心拍数より担架は平均51%、ブルーシート担架は平均48%、布担架は平均44%の心拍数増加であった。主観的運動強度の平均値は担架が16、班平均2\_1, 2\_2, 2\_3班の順で16, 17, 17(標準偏差 0.21, 0.27, 0.16)である。ブルーシート担架は17、布担架は16(標準偏差 0.2, 0.08)であった。握力は実験前握力より担架は平均で5%、ブルーシート担架は平均10%、布担架は平均7%の実験後の握力低下が見られた。搬送者が最も疲労を感じた部位は担架で前腕と上腕の肩から腕で、ブルーシート担架は手掌と前腕、布担架は肩から手掌の部位であった。搬送難易度で担架で搬送難易度は回答者の約33%ずつ「どちらかという難しい」、「どちらともいえない」、約13%ずつが「難しい」、「どちらかという易しい」と回答した。ブルーシート担架は回答者の50%ずつが「難しい」、「どちらかという難しい」で、布担架は回答者の約66%が「どちらかという難しい」、約33%が「難しい」と回答した。第2回実験の階段降下搬送時間と距離を図7、担架とブルーシート、布担架の実験時心拍数、主観的運動強度、運動強度をそれぞれ図8、図9に示し、第2回実験の身体疲労部位を図10、第2回実験搬送難易度を図11に示す。

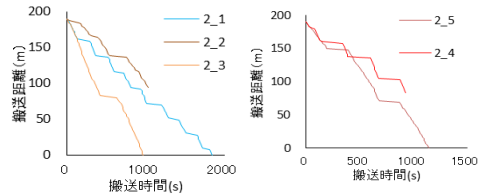


図7：第2回実験 搬送時間と距離

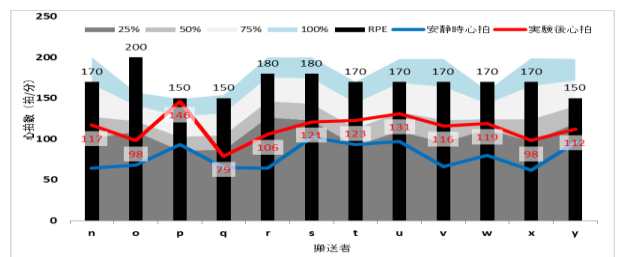


図8：第2回実験担架 主観的運動強度

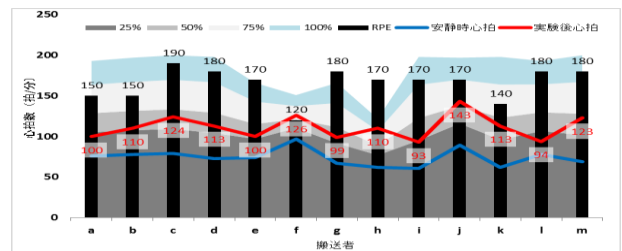


図9：第2回実験ブルーシート、布担架 主観的運動強度

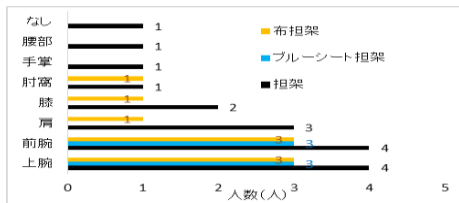


図 10：第 2 回実験担架 身体疲労部位

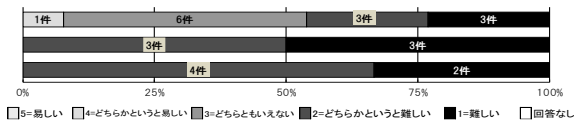


図 11：第 2 回実験担架 担架搬送難易

#### 4. 考察

##### 4.1 階段寸法と搬送速度

搬送者アンケートで階段幅の 5 cm の差は搬送のしやすさに大きな差があり、旋回が楽であるという意見が出た。階段幅の狭い高層階は手すりの上部で担架を旋回するが、階段幅が 5 cm 広い低層階は下部で旋回するため担架の上下運動が抑制され、階段勾配が 5° 緩やかであるので搬送速度は 16 (cm/s) 上昇したと考えられる。また、未経験者班のため高層階の後に低層階を搬送したため搬送の慣れも要因と考えられる。

##### 4.2 階段降下と搬送器具

折り畳み担架は最大 19 階分 (約 190m) 階段降下搬送が可能で搬送者搬送位置は図 12 に示すが進行方向持ち手に 1 名ずつ (①, ②) と頭部に 1 名 (④) が肩ベルトを使用し、左右の腰部に 1 名ずつ (③, ⑤) の計 5 名の搬送者が、効率的であった。搬送者①、②は身体の向きを階段降下時は進行方向へ向け、踊り場旋回時は進行方向と逆に向くため搬送者 1 名の場合、身体の向きが変えづらい。また、搬送者の中で身長が低い 2 名を進行方向 (①, ②) の搬送位置にすると、担架の持ち手を肩に乗せて階段降下が出来るので搬送しやすいことがわかった。

毛布担架は負傷者の重量で毛布が伸び、端から丸めた毛布が搬送者の握力の低下を引き起こし階段降下に適さなかった。ブルーシート担架は毛布担架に比べ、長距離降下搬送が可能であった。シートの折り返し部分が写真 1 に示すように負傷者の足のポケットとなり、人形がずれにくく、伸びにくい素材が要因と考える。簡易軽量折り畳み担架 (布担架) は持ち手があり、踊り場の旋回もしやすく、搬送しやすいが搬送者の持ち手の高さが異なるため担架のバランスが取りづらい。

##### 4.3 階段降下と身体負荷

担架の上で負傷者がずれると担架を掴む手が担架と負傷者に挟まれる場合があった。負傷者がずれて担架の左右のバランスが崩れると重量が片側の搬送者や同一搬送者の片側の腕にかかる。負傷者と担架は固定する等の負傷者がずれ動かない工夫となるべく手掌に負担がかからない搬送方法を行うことが長距離階段降下搬送をする上で重要と考える。また、負傷者が 36kg と 60kg の場合を比較すると重量が大きい程、主観的運動強度、実験後心拍数の上昇平均が大きい。成人男性は

60kg 以上である可能性は高く、負傷者の体重によって階段降下搬送は危険を伴い、長距離の搬送は困難となる可能性がある。

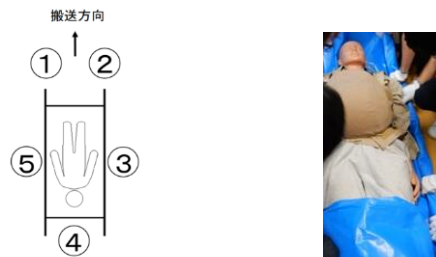


図 12：搬送者搬送時位置 写真 1：ブルーシート担架負傷者

#### 5. まとめ

本実験で階段降下に適した順に実験使用搬送器具を述べると折り畳み担架、布担架、ブルーシートを使用した応用担架、毛布を使用した応用担架の順である。

折り畳み担架は 190m の長距離階段降下搬送が可能で図 12 に示すように 5 名の搬送者が効率的であった。また、搬送者の中で身長が低い 2 名が進行方向の前方搬送位置では担架の持ち手を肩に乗せることが出来るため階段降下搬送しやすい。毛布担架は安全性を確保できないため階段降下に適さず、ブルーシート担架は毛布担架に比べ、長距離降下搬送が可能であるが搬送はしづらい。簡易軽量折り畳み担架 (布担架) は持ち手があり、搬送しやすいが左右のバランスが取りづらい。

負傷者が担架の上で、ずれないようにすることと手掌に負担がかかりにくい搬送方法を行うことが長距離の階段降下搬送には重要な点であった。

今後、ヘリポートを所有する高層ビルでは屋上に負傷者を階段上昇搬送する可能性もあり、超高層ビルとその周辺地域における災害時の負傷者対策について検討する必要がある。

#### 本文注と参考文献

1) 国土交通省：既設エレベーターの安全確保の促進【日本再生重点化措置要望】

2) 瀬戸口 俊也, 内田 公一, 山村 重行, 山村 重行, 布田 健, 萩原 一郎, 直井 英雄：介助者による階段降下の可能性について—車いす使用者の階段避難の可能性に関する実験 その 2— (日本建築学会大会学術講演梗概集) E-1, p. 971-972, 2006. 07

3) 大西 一嘉, 室崎 益輝, 久次米 真美子：病院の避難計画に関する研究 (その 2) 入院患者の避難行動能力の定量化 (日本建築学会大会学術講演梗概集 E, 建築計画, 農村計画) pp. 289-290, 1986. 08

4) A.P.M.Adams,E.R.Gale:An Experimenta Evaluation of Movement Devices used to assist People with Reduced Mobilityin High-Rise Building Evacuations Pedestrianand Evacuation Dynamics, pp.129-138,13 June 2011