

凍結路面における歩行に関する実験的研究

Analysis of Walking Experiment in Ice Conditions

新谷陽子* 原文宏 ** 平森善光 *** 浅野基樹****

Yoko Shintani* Fumihito Hara** Yoshimitsu Hiramori*** Motoki Asano****

1. 背景と目的

冬に積雪が多く、比較的気温も低い北日本の冬の気象は、歩行者には大変厳しい条件である。特に交差点部の横断歩道は、スパイクタイヤの使用禁止に伴い滑りやすい路面が急増し、歩行中の路上転倒事故の危険性が高まっている。例として、札幌市における冬期歩行者の路上転倒事故件数の推移を見ると、スパイクタイヤがまだ使用されていた1980年代後半には毎年約200件の事故が発生していたが、スパイクタイヤからスタッドレスタイヤの使用に移行し始めた1992年から事故件数が毎年約500~600件と急激に増えている。¹⁾

このような歩行環境においては、たとえ健康な人であっても歩行中に事故に遭う危険性が高くなることから、運動機能の低下した高齢者にとっては安心して外出できない状況となっており、高齢者の冬期モビリティ確保に大きな妨げとなっている。

効果的な転倒事故対策を講じるためには、冬期歩行の問題点や転倒事故の原因を明確にする必要がある。しかし、これまでに様々な学術分野で実施されてきた歩行者の転倒事故に関する調査は、事故が高齢者に与える損害の深刻さや、安全な歩行環境整備の重要性についての報告がなされたものの、転倒事

故発生メカニズムの解明には至っていないのが現状である。

デンマークのMerrild&Bak²⁾やスウェーデンのOberg³⁾が実施した調査では、病院の診療記録をもとに転倒事故分析をしているが、この中で対象となったのは病院で治療を受けた人など、比較的重傷を負った患者に限定されている。また、原,他⁴⁾や二本柳,他⁵⁾の調査では、救急隊員による転倒事故の救急搬送の記録を分析しているが、前述の調査と同様に重傷を負った転倒者のみに限られている。したがって、これらの調査結果から、病院で治療は受けなかったものの滑って転倒した人や、滑って転倒しそうな人の実態を掴むまでには至っていない。

また、転倒した場所を把握するために、Merrild & Bak²⁾やOberg³⁾は転倒事故でけがをした人に電話や面談による聞き取り調査を行ったが、具体的な場所や道路構造(例えば、横断歩道の中央、車道と歩道の擦り付け部など)や路面状態の詳細については報告されていなかった。原,他⁶⁾は札幌市の女性を対象にアンケート調査を実施し、冬期の路上転倒の件数や転倒場所をまとめているが、前述と同様に事故現場についての詳細は確認されていない。さらに、こうした追跡調査では、転倒者自身の記憶が唯一の情報源であることから、情報の信憑性が必ずしも妥当であるとは言い切れない。

以上の背景をふまえ、本研究では、冬期歩行環境が取り分け厳しい交差点部に着目し、札幌市の都心部をモデルとした冬期の横断歩道の歩行を想定した実験を行い、交差点部及びその周辺の冬期バリアフリー化の検討に資することを目的に、冬期の歩行者動態と転倒事故の要因を分析した。

キーワード：歩行者動態、転倒事故、バリアフリー

* 正会員 (社)北海道開発技術センター研究員
** 正会員 工博 (社)北海道開発技術センター企画部部長
〒060-0051 札幌市中央区南1条東2丁目11番地
tel.011-271-3028 fax.011-208-1566
*** 北海道開発局札幌開発建設部
〒060-8506 札幌市中央区北2条西19丁目
tel.011-611-0111(ex.2387) fax.011-611-0797
**** 北海道開発土木研究所
〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目
tel.011-841-1111(ex.340) fax.011-841-9747

2. 歩行実験の概要

リハビリテーション医学の見地から高齢者の転倒を研究している眞野⁷⁾は、転倒事故の危険因子を、個人の身体的・精神的資質に起因する内的要因と、個人を取り巻く環境に起因する外的要因(環境要因)に分類し、多くの転倒事故は、内的要因と外的要因の不適合によって発生すると指摘している。このことから、冬期の路上転倒は、内的要因である身体能力や環境適応能力と、雪氷路面、急な勾配、段差、不陸などの外的要因の不適合によって発生すると言える。さらに、健康な人が転倒するのは、冬期の歩行環境の厳しさ(外的要因)が通常的身體能力の限界を越えるからであり、高齢者や障害者の場合は、身体能力(内的要因)の低下に応じて周囲の環境への適応力が低下し、その結果、冬の歩行環境に充分に対応できないために転倒することが多いと考えられる。

そこで、今回の歩行実験では、高齢者・障害者の転倒要因を分析する前に、まず健康者の身体能力を超えて転倒を引き起こすと考えられる外的要因の影響力を明らかにすることを目的とした。

実験は、冬期の横断歩道部をモデルとし、雪氷・無雪などの路面で縦断・横断勾配を可変できる屋外歩行コースで行った。(図-1) 想定される外的要因が多様であることから、調査因子は路面の滑りと勾配に限定するとともに、実験の効率化を図るため、直交配列表に基づき勾配の組み合わせを決定した。(表-1, 2) 被験者は20歳代の健常者13名(男6, 女7)で、それぞれ異なった条件でコースを1往

復した時の速度を計測すると共に、歩行動態をビデオテープに記録した。(表-3)

表-1 調査因子と因子水準一覧

調 査 因 子			因 子 水 準			
説 明 変 数	路面状態	路面形態	凍結	無雪		
		摩擦係数	0.25以下	0.5以上		
	縦断勾配	車 道	0%	2%	5%	8%
		歩 道	0%	2%	5%	8%
	横断勾配	車道/歩道	0%	2%	5%	8%

表-2 勾配条件一覧

勾配条件ID		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		基本	勾配比較（直交配列表） * 前提条件: 勾配>0% * 水準: 2%、5%、8%								
縦断	車道	0%	2%	2%	2%	5%	5%	5%	8%	8%	8%
	歩道	0%	2%	8%	5%	5%	2%	8%	8%	5%	2%
横断	車道/歩道	0%	2%	5%	8%	2%	5%	8%	2%	5%	8%

表-3 実験時の測定項目一覧

測 定 項 目	
目 的 変 数	歩行速度(m/分)：コースを1往復した時の歩行速度
	転倒・歩行不能件数
	両脚支持率(%)：一歩毎に両足が着地している時間の割合 (図-2参照)

3. 分析

(1) 步行速度

被験者の歩行速度の分布を勾配及び路面条件別に比較したところ、無雪路面では勾配の変化に関わらず殆ど均一の速度を保っているが、凍結路面では勾配の変化に伴って速度が著しく変動していることが明らかになった。特に、横断勾配が8%に設定された勾配条件 3,6,9 において減速傾向が強く、被験者間の速度が大きく分散しているのが特徴的である。

(义-2)

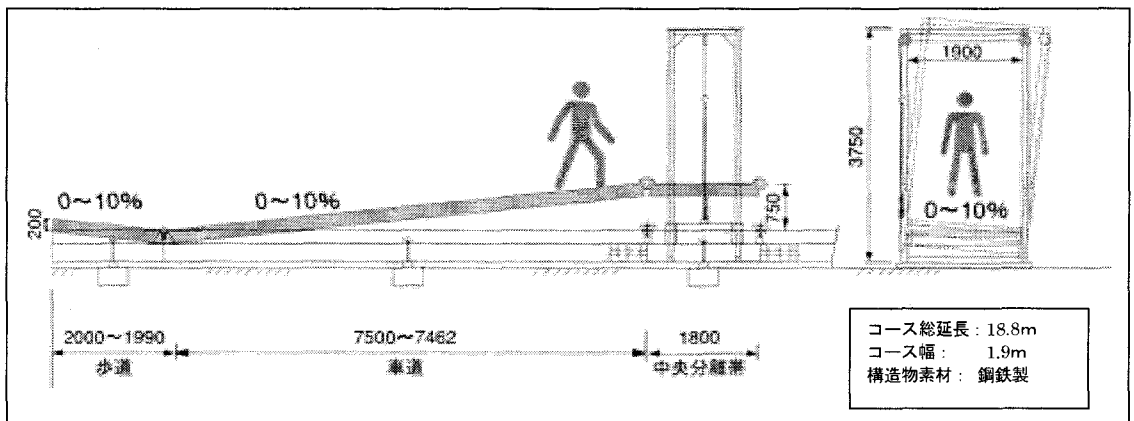
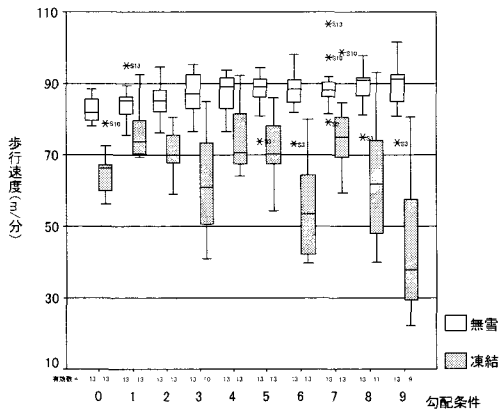


圖-1 步行実験Ⅱ-ス：可動・可変勾配式歩行路構造図



＜箱ひげ図＞
 ・中央値、4 分位、外れ値に基づく要約図。箱は 4 分位数間の範囲であり、箱にはデータの値の 50% が含まれている。
 ・各箱から出る線（ひげ）は外れ値を除いたときの最大値及び最小値に向かって伸び、分布の範囲を示す。
 ・箱の中の横線は中央値を示し、○及び＊はそれぞれ外れ値、極値を示す。

図－2 勾配・路面条件別の歩行速度の分布

(2) 転倒・歩行不能件数

被験者が凍結路面を歩行中に転倒又は歩行不能（途中で立ち止まり前進できなくなった状態）となったのは9件で、そのうち女性が男性より1件上回って発生した。ここで、勾配条件や男女の違いが転倒及び歩行不能の発生に関わっているのかを検証するため、以下の仮説を立て、Pearson の χ^2 乗による母平均の独立性を検定した。

【仮説 H1】

帰無仮説 H1₀: 転倒・歩行不能の発生は勾配条件と何ら関係がない。
 対立仮説 H1₁: 転倒・歩行不能の発生は勾配条件の違いで変化する。

【仮説 H2】

帰無仮説 H2₀: 転倒・歩行不能の発生と男女の違いは何ら関係ない。
 対立仮説 H2₁: 転倒・歩行不能の発生は男女差で変化する。

この結果、仮説 H1 においては、帰無仮説が有意水準 1% で棄却され、勾配条件 3,8,9 は他の勾配よりも転倒及び歩行不能の危険性を孕んでいたことが明らかになった。仮説 H2 については、帰無仮説が棄却されないことから、転倒及び歩行不能は男女に関係なく発生したことが確認された。(表-4)

表－4 勾配・性別の転倒及び歩行不能件数

■凍結路面での転倒・歩行不能件数

性別	勾配条件 ID										計
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
女	0	0	0	2	0	0	0	0	1	2	5
男	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2	4
計	0	0	0	3	0	0	0	0	2	4	9

■独立性の検定: Pearson の χ^2 乗

	値	自由度	漸近有意確率(両側)	有意水準
仮説 H1	24.949	9	0.003	<0.01
仮説 H2	0.011	1	0.915	>0.01

(3) 勾配水準比較

被験者の歩行速度が際立って減速したのは横断勾配が最大水準である 8% であったことや、転倒及び歩行不能の危険性が高いと確認された勾配条件 3,8,9 の横断勾配が 5% 以上であったことから、凍結路面における急な横断勾配は縦断勾配よりも転倒を引き起こす危険度が高い因子として考えられる。

そこで、被験者の歩行動態に対する横断勾配と車道縦断勾配の影響度に差があるかどうかを検証するため、車道合成勾配が同一の勾配条件 3 と 7、及び勾配条件 6 と 8 を比較し、以下の仮説を立て、T 検定による母平均の独立性を検定した。

【仮説 H3】

帰無仮説 H3₀: 勾配条件 3 と 7 の両脚支持率の差はない。
 対立仮説 H3₁: 勾配条件 3 と 7 の両脚支持率の差はある。

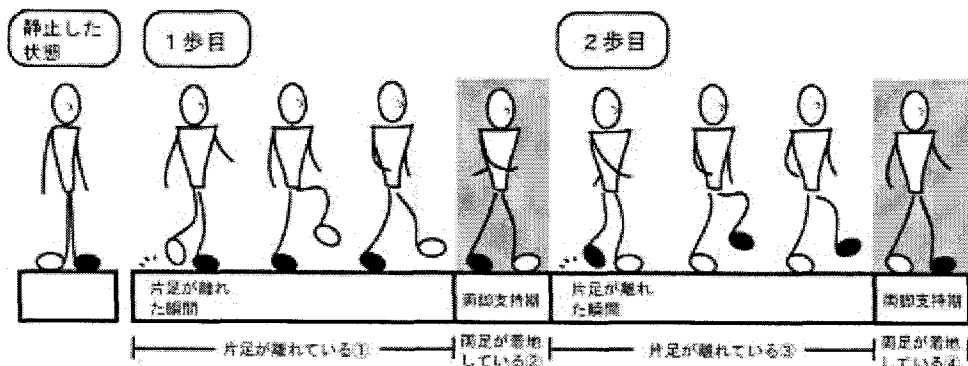
【仮説 H4】

帰無仮説 H4₀: 勾配条件 6 と 8 の両脚支持率の差はない。
 対立仮説 H4₁: 勾配条件 6 と 8 の両脚支持率の差はある。

* 勾配条件 3,7 の車道合成勾配は同じ…8.2%

* 勾配条件 6,8 の車道合成勾配は同じ…9.4%

検定にあたっては、被験者の転倒及び歩行不能の為に歩行速度を計測できなかったケースがあり、それぞれの母集団の標本数が均一でなくなるため、歩行速度ではなく両脚支持率を目的変数とした。両脚支持率とは、被験者が一歩進む時に両足が着地している時間の割合を示しており、被験者が走ると両脚支持率は 0% となるが、歩行困難な状況で足を引きずって歩く（摺り足歩行）と両脚支持率は大きくなり 100% に近づく。(図-3) このことから、ある勾配条件での両脚支持率が他と比べて大きいと認められた場合、その条件下での被験者は歩行困難な状態で歩いていたと判断することができる。



$$\text{両脚支持率 (\%)} = \frac{(2/①+②) + (4/③+④)}{2} \times 100$$

図-3 両脚支持率の定義

検定の結果、仮説H3においては、帰無仮説が有意水準1%で棄却され、勾配条件3を歩く時の両脚支持率がより大きいことから、被験者の歩行動態に与える横断勾配の影響力が縦断勾配よりも大きいことが確認された。しかし、仮説H4においては、帰無仮説が棄却されないことから、合成勾配が9.4%に達している路面においては、縦断及び横断勾配の影響力に差はないことが明確になった。

表-5 比較するグループ毎の統計量

勾配条件				N	平均値	標準偏差	平均値の標準誤差
ID	横断勾配	縦断勾配	合成勾配				
3	8%	2%	8.2%	13	30.470	6.566	1.821
7	2%	8%		13	23.490	6.213	1.723
6	8%	5%	9.4%	13	30.339	4.974	1.380
8	5%	8%		13	27.262	6.233	1.729

表-6 T検定：2つの母平均の差の検定

勾配条件	等分散性のためのLeveneの検定		2つの母平均の差の検定						
	F値	有意確率	t値	自由度	有意確率(両側)	平均値の差	差の標準誤差	差の95%信頼区間	
								下限	上限
3-7 平均値を分散する。 分散性を分散しない。	0.147	0.705	2.784	24	0.010	6.980	2.507	1.806	12.155
			2.784	23.927	0.010	6.980	2.507	1.805	12.156
6-8 平均値を分散する。 分散性を分散しない。	0.527	0.475	1.391	24	0.177	3.077	2.212	-1.488	7.642
			1.391	22.875	0.178	3.077	2.212	-1.500	7.654

4. 考察

今回の分析から次の結果が得られた。

- 凍結路面においては、勾配の変化に伴って歩行速度が変動する傾向が強だけでなく、被験者間の速度の分散が大きい。これは、凍結路面や急な勾配などの歩行困難な環境に対し、歩行者が敏感に反応している状態を示していると考えられる。

- 凍結路面における転倒及び歩行不能の発生頻度に男女差があるとは言いがたい。これは、Merrild&Bak²⁾、原,他⁴⁾、及び原,他⁶⁾の、「冬の転倒事故は女性に発生頻度が高い」という報告とは異なっている。その理由として、今回分析した転倒及び歩行不能の発生頻度は、実験中の被験者によるものであり、既往調査が対象とした、「転倒による重傷者」に限定されていないことが考えられる。したがって、性別による転倒リスクの差はないものの、転倒によって重傷を負うのは男性よりも女性が多いと判断するのが妥当であると言える。
- 凍結路面における転倒及び歩行不能は、勾配の違いによってその発生頻度が変わる。特に、急な横断勾配は、縦断勾配と比べ、転倒や歩行困難な状況を引き起こす危険性が高い。しかし、合成勾配が9%を超えた場合は、縦断及び横断勾配の影響力の差は見られない。

< 参考文献 >

- 中前茂之：バリアフリーと冬期歩行者空間確保の推進について、ゆき, No.41, pp. 27-32, 2000.
- Merrild,U. and Bak,S.: An Excess of Pedestrian Injuries in Ice Conditions: A High-Risk Fracture Group—Elderly Women, Accident Analysis & Prevention, Vol.15.No.1, pp.41-48, 1983.
- Oberg,G:Single Accidents among Pedestrians and Cyclists in Sweden, Xth PIARC International Winter Road Congress Technical Report, Vol.3, pp.677-685, 1998.
- 原,川端,小林:札幌市の冬期歩行環境の安全性について—路上転倒事故の実態調査—, 第6回寒地技術シンポジウム, CTC900407, 1990.
- 二本柳,川口:非常に滑りやすい凍結路面における歩行者の転倒事故について—消防局における救急活動からの報告—, 第39回北海道開発局技術研究発表会, 1995.
- 原,秋田谷,須田:女性を対象とした冬期歩行に関する意識調査, (財)セコム科学技術振興財団助成研究:冬期雪国生活の安全性の高度化に関する研究, pp. 1-6, 1996.
- 眞野行生編:高齢者の転倒とその対策, 医歯薬出版株式会社, 1999.