

## 昇段補助を目指した錯視の影響下における見かけの段差高さのモデル式構築

Construction of a modeled curve about visual heights of steps  
in optical illusion to assist climbing stairs

○ 福本亮太 三浦智 菅野重樹 藤江正克 (早大)

Ryota FUKUMOTO, Waseda University  
Satoshi MIURA, Waseda University  
Shigeki SUGANO, Waseda University  
Masakatsu FUJIE, Waseda University

**Abstract:** This paper presents a visual illusion system for preventing stumbling on stairs for elderly people. It is dangerous to stumble on stairs for the elderly people because the elderly people fall down the recognition skill to perceive the height of the stairs precisely. In this paper, we develop the visual illusion system for showing a user stripe lines on step. The users recognize the visual height of step higher, and the height of the toe is higher. The objective is to construct a modeled curve about visual heights of steps to show the visual illusion which can make the toe highest. We conducted an experiment that subjects climbed a stairs in optical illusion. In conclusion, we found the modeled curve that can make height of the toe highest. We will make visual illusion the system based on the modeled curve.

**Key Words:** Stepping Support, Visual Illusion, Augmented Reality

## 1. 諸言

## 1-1 背景

高齢化は身体機能の低下を引き起こすため、日常生活中に転倒する危険性が生じやすくなる。特に階段歩行時の転倒は重大な事故に繋がるため未然に防ぐ必要がある。転倒が発生する一因として高齢化による知覚の衰えがある<sup>(1)</sup>。Fig. 1のように、高齢者の知覚機能が衰え、知覚する段高さ(見かけの段高さ)が実際の段高さよりも低く見誤り、足の振り上げ幅が段に対して低すぎることで転倒する<sup>(2)</sup>。そのため、足部軌道の最大値である足部最大上昇量が実際の段高さに対して十分な高さになるように認知機能を支援するシステムが求められている。

## 1-2 関連研究

視覚により足部の上昇を補助する関連研究として、錯視を利用した足部上昇の研究がある(Fig. 2)<sup>(3)(4)</sup>。端面の線が垂直の段での昇段時において、錯視により足部が高く上がることが報告されている。

## 1-3 研究目的

支援にあたって全ての段端面に縦線を設けることは現実的に困難である。そこで、縦線を階段の段端面に画像処理で提示し、拡張現実感による錯視を引き起こすことで、階段の転倒を防止するシステムを提案する。提案するシステムにおいて、錯視を半透明(シースルー)のヘッドマウントディスプレイ(HMD)により提示する方法をFig. 3に示す。使用者はHMDを通して階段を視認する。その際、階段の端面に画像処理によって拡張現実感による錯視を生じさせる縦線を描く。錯視によって、床面からの足部高さを上昇させ使用者の階段上昇を補助するシステムを構築する。

階段上昇の際の段差に対するフット・クリアランス量は個人毎に異なる。そのため、個人毎に最適な錯視表示を行うためには、錯視を変化させることで階段上昇の補助量を調整する必要がある。本稿では、昇段の際の足部最大上昇量の個人差に対応したシステムを構築するため、使用者毎に最も足部最大上昇量が増加する錯視条件を導出する。本稿の目的は、使用者にとっての見かけの段高さと錯視の関係性をモデル化することである。

## 2. 見かけの段高さのモデル式

## 2-1 仮説

関連研究として、画像の視認性を表したコントラスト感度曲線(CSF)がある<sup>(5)</sup>。視野内の単一構造の繰り返しの数を示す空間周波数に対しての、視認性の限界を表す曲線である。CSFより人は特定の空間周波数で最も明確に画像を視認していることが分かる。CSFはバンドパス特性を持つ曲線であり、同様にバンドパス特性を持つガウス関数での近似が報告されている<sup>(6)</sup>。

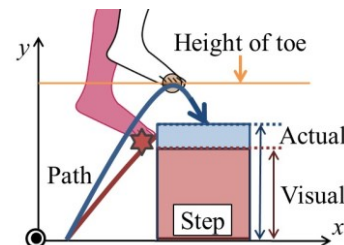


Fig. 1 Visual and actual step

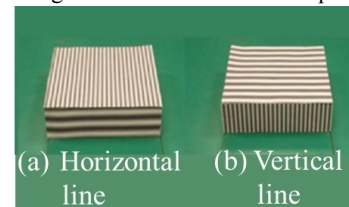


Fig. 2 A visual illusion of step

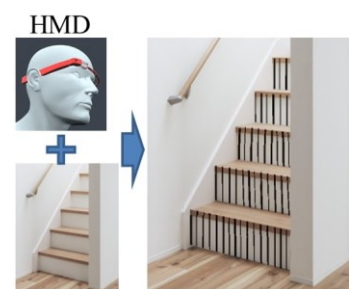


Fig. 3 System of visual illusion

本研究の仮説として、CSFに基づき縦線によって錯視の視認性が増加することで、錯視を明確に意識し見かけの段高さが増加すると考えた (Fig. 4)。CSFにおいて空間周波数にあたる縦線太さを  $c[\text{mm}]$ 、視認性にあたる見かけの段高さを  $H[\text{mm}]$  とした時、 $\sigma$ ,  $\mu$ ,  $a$ ,  $b$  を定数として以下の式(1)のように書ける。よって式(1)の仮説の検証を目的とした実験を行う。

$$H = a \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{(c-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) + b \quad (1)$$

2-2 仮説の検証方法

縦線太さに対する見かけの段高さを実験で計測することは困難である。そこで、錯視と足部最大上昇量の関係を導出することで、仮説式を検証する。まず個人毎の段高さに対する足部上昇量の関係の計測を行う。ここで、若年健常者の知覚機能の高さから、見かけの段高さ  $H[\text{mm}]$  を実際の段高さと同じとみなせると考えた。従って、被験者を若年健常者とする事で、実際の段高さ  $H[\text{mm}]$  を変化させた際の足部上昇量  $h[\text{mm}]$  を計測し、関係式(2)を導出する。式(2)における  $A$ ,  $B$  は被験者毎の定数である。段高さが上昇するにつれて、昇段の際の足部のフット・クリアランス量が一定だと考え、段高さに対する足部高さの関係は線形で示されると予想される。

$$h = AH + B \quad (2)$$

ここで、式(1)の仮説のモデル式と式(2)を連立し、段高さ  $H$  を消去することで、縦線太さ  $c[\text{mm}]$  と足部上昇量  $h[\text{mm}]$  についての仮説の関係式(3)を導出する。

$$h = A \left( a \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{(c-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) + b \right) + B \quad (3)$$

縦線の太さ  $c[\text{mm}]$  を変化させた際の足部上昇量  $h[\text{mm}]$  の関係の導出を目的とした計測を行い、計測した実験値を仮説式から導出した関係式(3)で近似し、決定係数を算出することで、仮説式を検証する。

3. 見かけの段高さのモデル式検証実験

3-1 実験目的

縦線の太さに  $c[\text{mm}]$  に対する見かけの段高さ  $H[\text{mm}]$  のモデル式を検証することを目的とする。

3-2 実験装置

被験者の足部位置を計測するため、光学式モーションキャプチャ Raptor-E を使用した。計測精度は  $\pm 0.0[\text{mm}]$  であった。また、腰、膝、つま先にマーカを付けた。マーカ位置を Fig. 5 に示す。使用した階段を Fig. 6 に示す。

3-3 被験者

本実験の被験者は若年健常者 5 名を対象にして行った。本実験は「人を対象とする研究に関する倫理委員会」にて【2014-242】として倫理審査の承認を得ている。

3-4 実験方法

実験環境を Fig. 7 に示す。Table 1 に示した条件の階段を、被験者が各 3 回ずつ上昇した。その際のつま先位置を光学式モーションキャプチャ Raptor-E にて計測することで、階段上昇時の足部上昇量の比較を行った。

- ① Table 1 の条件の階段の内いずれかをランダムで実験環境に置く。
- ② 被験者は、階段正面の歩行開始位置に立つ。歩行開始位置は、階段との距離が近過ぎることで被験者が不自然な歩行になることを防ぐため、余裕を持って階段から 2360[mm] 手前とした。

- ③ 被験者は階段に向かって歩行を行い、階段を上昇する。この際、被験者は階段の段差の端面を視認するよう指示した。また、右足が先に一段目の段上に付くように段差の上昇を行うことを指示した。
- ④ 被験者は左足を二段目に付けた後、直進して降りる。
- ⑤ Table 1 の他の条件の階段でも同様に計測を行う。
- ⑥ 計測したつま先位置データより、モデル式の検証を行う。

Table 1 Condition of the experiment

Condition	c mm	H mm
Changing height of stair	0	159
		161
		163
		165
		167
Changing thickness of line	0	159
	3	
	7	
	15	
	31	
	63	
	127	

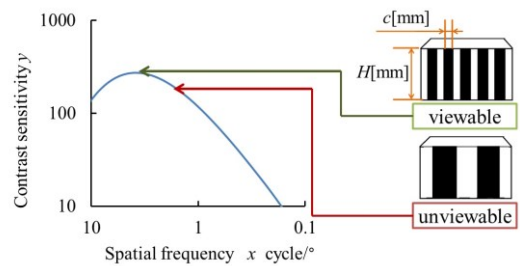


Fig. 4 Hypothesis of parameter of the visual illusion

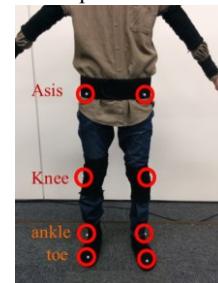


Fig. 5 Position of the markers

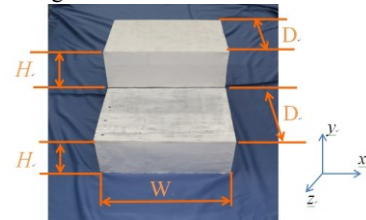


Fig. 6 Appearance of the stair

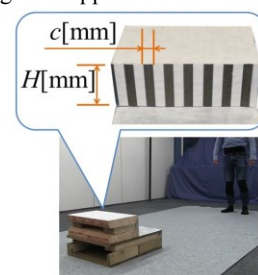


Fig. 7 Overview of experiment for leading the model formula

3-5 実験結果

被験者5名の昇段時において錯視の縦線の太さ  $c$ [mm]を  
変化させた際の、足部高さ  $h$ [mm]の最大上昇量の平均値を  
プロットしたものを Fig. 8 に示す。また、関係式(3)によっ  
て、縦線の太さ  $c$ [mm]を変化させた際の足部高さ  $h$ [mm]の  
最大上昇量の実験値を近似したものを同じく Fig. 8 に示す。  
また、近似した際の決定係数  $R^2$  値を同様に Fig. 8 に示す。  
近似は被験者5名に対し非線形最小二乗法にて行った。全  
ての被験者で、決定係数は0.6以上であった。

また、Fig. 6 において、各被験者における最も足部が上  
昇した際の高さ  $H_{max}$ [mm]及び、その時の錯視の線太さ  $c_{peak}$   
[mm]を Table 2 に示す。全ての被験者において特定の線の  
太さ条件下で、昇段時に足部が7.96[mm]以上上昇した。

3-6 考察

全ての被験者において決定係数が0.6以上であるため、  
縦線の太さ  $c$ [mm]に対する足部最大上昇量  $h$ [mm]が、CSF  
から得た関係式(3)で近似できる可能性を示した。よって、  
縦線太さに対する見かけの段高さの関係が CSF で近似可  
能であると考えられる。

また、全ての被験者で特定の線の太さ条件下で、昇段時  
に足部が上昇したため、錯視による昇段補助が可能である  
と考えられる。

また被験者B,Cにおいて、近似曲線の傾斜がなだらかな  
ものとなり、即ち式(3)における $\sigma$ が低くなった。Fig. 8 にお  
いて、縦線の太さを大きくしていった場合、足部最大上昇  
量  $h$ が増加を始める縦線の太さの値  $c_0$ が被験者毎に異なっ  
ている。CSF において、 $c_0$ にあたる点  $x_0$ は視力に相当する  
とされている。 $c_0$ と  $x_0$ を Fig. 9 に示した。Fig. 9 の左図は  
CSF、右図は縦線太さに対する足部最大上昇量である。実  
際に Fig. 8 より、被験者D、被験者Eに比べて、被験者A、  
被験者B、被験者Cの  $c_0$ は小さい。Table 2 に示すように、  
視力1.0以上であった被験者D、被験者Eに比べて、被験  
者A、被験者B、被験者Cの視力は1.0未満と少ないこと  
から、 $c_0$ と視力は実際に関係性があると考えられる。 $c_0$ は  
式(3)においては $\sigma$ に関係する値であることから、視力が近  
似曲線の傾斜に関係がある可能性が挙げられる。

4. 結言

本稿では、拡張現実感を用いて段端面に縞線を表示して  
足部上昇を促す階段上昇補助システムを提案した。使用者  
毎に段差昇段に最適な見かけの段高さを提示するために、  
段差端面の縦線の太さに対する見かけの段高さの仮説のモ  
デル式検証を行った。検証実験では、若年健常者5名を対  
象に、昇段時のつま先の座標を光学式モーションキャプ  
チャで取得した。段高さと足部上昇量の関係について、仮説  
から導出した関係式にて近似したところ、すべての被験者  
で決定係数0.6以上の相関を得た。縦線太さに対する見か  
けの段高さの関係が CSF で近似可能であると本稿では結  
論づけた。今後は高齢者による検証実験の実施、および構  
築したモデル式に基づく拡張現実感での錯視表示システム  
を開発する。

謝辞

本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議の  
SIP (戦略的イノベーション創造プログラム)「インフラ維  
持管理・更新・マネジメント技術」(管理法人: JST)、文  
部科学省科学研究費 卓越した大学院拠点形成支援補助金  
「グローバルロボットアカデミア」、基盤研究(A)  
(26242061)の支援を受けて行われた。

参考文献

- (1) 長尾裕太, 人が知覚している足部位置と実際の足部位置との誤差の特性, 日本機械学会論文集C編, 2011
- (2) 高齢者の平衡機能と転倒, 理学療法, 2001, 18:858-864
- (3) Elliott DB, "Does My Step Look Big In This. A Visual Illusion Leads To Safer Stepping Behavior", PLoS One, 2009
- (4) 目の錯覚により動作は変わるのか: 縦及び横縞の障害物またぎ動作での検討, Journal of rehabilitation and health sciences. 2011, 9, pp7-10
- (5) De Valois, "Psychophysical studies of monkey vision III. Spatial luminance contrast sensitivity tests of macaque and human observers", Vision Research, vol.14, pp.75-81, 1974.
- (6) 水野守倫, "視覚特性に基づくディスプレイ表示法の開発", [http://www.tytlabs.com/japanese/review/rev333pdf/333\\_077mizuno.pdf](http://www.tytlabs.com/japanese/review/rev333pdf/333_077mizuno.pdf), 閲覧日(2015年5月24日)

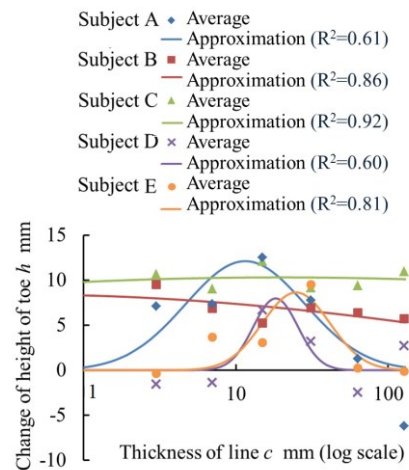


Fig. 8 The relation between the height of toe and thickness of line

Table 2 Peak of thickness experiment

Subject	Eye sight	Peak of thickness $c_{peak}$ mm	Maximum of height $H_{max}$ mm
A	R:0.3,L:0.2	11.5	12.1
B	R:0.9,L:0.9	0.375	8.40
C	R:0.6,L:0.6	19.6	10.3
D	R:1.2,L:1.2	18.2	7.96
E	R:1.0,L:1.0	24.8	8.64

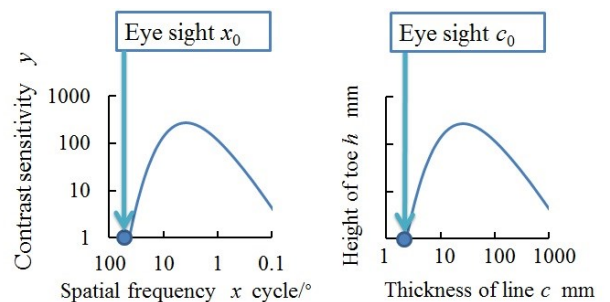


Fig. 9 The relation between eye sight