



Title	Extrapolation of Thermal Sensation: Enlargement of Perceptual Boundary Induced by Spatiotemporal Integration of Thermal Stimulation
Author(s)	Junjie, Hua
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/98694">https://doi.org/10.18910/98694</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## Abstract of Thesis

Name ( Junjie HUA )	
Title	Extrapolation of Thermal Sensation: Enlargement of Perceptual Boundary Induced by Spatiotemporal Integration of Thermal Stimulation (温度感覚の外挿：温度刺激の時空間統合による知覚境界の拡大)

## Abstract of Thesis

Humans rely on their ability to perceive external temperatures to recognize material properties. Despite its significance, thermal sensation has not been well studied. While there have been physiological studies on temperature representation, the spatial organization of thermal sensation, particularly its perceptual boundary, remains unclear. This thesis investigates Extrapolation of Thermal Sensation (ETS). Classical thermal phenomena including Thermal Grill Illusion (TGI) are perceived only at the stimulus location or within the boundary formed by multiple stimuli. ETS, however, reports perception outside the physical boundary.

This thesis uses psychophysical methods to determine if classical models explaining TGI—such as unmasking and addition theories—can also explain ETS. The thesis explores whether the perceptual boundary extends beyond the physical stimulus under various spatiotemporal conditions. It was found that the temporal sequence of warm and cold stimuli applied to the fingertip and base of the middle finger influences perception. Warmth applied before a cold stimulus induced a reliable perception of warmth beyond the cold stimulus, demonstrating ETS.

The relationship between ETS and stimulus temperature was also explored. Gradually increasing warm and cold stimuli increased the percentage of hot judgment outside the physical boundary, indicating that the unmasking theory in TGI does not explain ETS. Instead, the addition theory explains ETS. Warmth outside the physical boundary results from the addition of warm and cold stimuli.

Comparing the spatial characteristics of ETS to TGI, simultaneous warm, cold, and neutral stimulation of the fingers or lower leg revealed that both phenomena showed segmental-distance-dependent variations in perceived temperature. However, ETS did not occur in areas evoking TGI, suggesting distinct mechanisms for the two phenomena.

In conclusion, the thesis author found ETS for the first time and also revealed the phenomenon expands the perceptual boundary in human thermal sensation.

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 （ 華 俊 杰 ）			
	(職)		氏名
最終試験担当者	主査	教授	前田太郎
	副査	教授	松田秀雄
	副査	准教授	戸谷吉博
	副査	准教授	古川正紘

## 論文審査の結果の要旨

ヒトは外部の温度を感じ取る能力によって対象の物性を認識しているが、触覚の中でも温度感覚に関する研究は少数派である。温度の表象に関する生理学的研究はあるものの、温度感覚の空間的組織化、特に知覚の空間境界を決定する要因については未整理なままである。本論文は温度感覚の空間補外現象（ETS）の発見とその機序について検証を行っている。古典的な熱錯覚現象としてのサーマルグリル錯視（TGI）では、錯覚現象は刺激と同一の物理的位置もしくは複数の刺激位置を補間する位置でしか生じないのに対し、ETSは刺激の物理的な領域の外側においても知覚される点が異なっている。

本論文では、心理物理学的方法を用いて、TGIを説明する古典的なモデル（Unmasking理論やAddition理論など）がETSも説明できるかどうかを検証している。この手段として、多様な空間的・時間的条件のもとで、知覚の境界が物理的な刺激の範囲を超えて広がっているかどうかを調べている。その結果、手掌部において指先と中指付け根に温冷刺激を時間順序を与えて刺激すると、知覚位置に補外的な位置錯覚が生じることがわかった。冷たい刺激の前に暖かい刺激を与えると、冷たい刺激の先に暖かい刺激が確実に知覚され、ETSの空間補外的な現象が証明されている。

またETSと刺激温度の関係についても実験的に検証しており、暖かい刺激と冷たい刺激を徐々に強くしていくと、物理的境界の外側で熱いと判断する割合が増加することを明らかにしている。これは、TGIにおける既存のUnmasking理論ではETSを説明できないことを示している。一方で、この段階では既存のAddition理論ならばETSを説明することが部分的に可能であることも示されている。物理的境界の外側で暖かい刺激が感じられるのは、暖かい刺激と冷たい刺激のAdditionによる現象としてその一部分を説明することが可能である。しかしこの理論だけでは温冷間で非対称な補外現象を示すETSを完全に説明することができないことも明らかとなった。

さらにETSの空間的特性をTGIと比較すると、手指または下腿に温冷刺激を同時に与えた場合、両現象ともに知覚温度にデルマトームに沿った距離依存性が見られた。しかし、ETSではTGIを引き起こす下腿領域で発生しない遠距離領域が存在することが明らかとなった。このことから、両現象には異なるメカニズムが存在することが示唆された。

最終的に本論文では、温冷の感覚器の密度差から各知覚における空間的な連続性保持の必要性と、それに伴って温冷で補間距離の異なる相互抑制系の存在を仮定した感覚統合モデルを提案している。この提案によって、筆者が発見した新現象であるETSを、既知のTGIや温度錯覚理論を統一的に説明することに成功している。

以上のように、本論文はヒトの温冷知覚における空間的な錯覚について、丹念な感覚刺激実験を積み重ね、旧来の現象と理論を統合しつつ、新たな現象として発見したETSの補外錯覚をも説明する統一的な数理モデルを提案することに成功しており、皮膚温度感覚の空間的な再現性の理論モデルの構築において顕著な貢献を示したものである。よって本論文は博士（情報科学）の学位論文として価値のあるものと認める。