

# 博士學位論文

(論文内容の要旨及び論文審査の要旨)

第13号

平成30年4月

八戸工業大学

は し が き

博士の学位を授与したので、学位規則（昭和28年文部省令第9号）  
第8条の規程に基づき、その論文の内容の要旨及び論文審査の結果の  
要旨をここに公表する。

# 目 次

## 課程博士

学位記番号	博士の 専攻分野の 名称	氏 名	論 文 題 名	頁
博 第 5 4 号	博士 (工学)	马 东建	菊花成分の中樞神経細胞保護作用に関する食用菊栽培品種の比較による研究 (Neuroprotective effects of cultivar extracts derived from Chrysanthemum Morifolium flowers on the cerebral nerve cells)	1
博 第 5 5 号	博士 (工学)	刘 耘	On Modal Choice and Transportation Facilities Development in Cities (都市における交通施設整備と交通機関選択に関する研究)	9

氏名	馬 東建
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	博 第54号
学位授与年月日	平成30年3月20日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	菊花成分の中樞神経細胞保護作用に関する食用菊栽培品種の比較による研究 (Neuroprotective effects of cultivar extracts derived from <i>Chrysanthemum Morifolium</i> flowers on the cerebral nerve cells)
論文審査委員	(主査) 八戸工業大学教授 若生 豊 (副査) 八戸工業大学教授 鶴田 猛彦 (副査) 八戸工業大学教授 大黒 正敏 (副査) 八戸工業大学教授 藤田 敏明

## 論文の内容の要旨

菊花は、解熱、解毒、鎮痛、消炎等に有効な薬あるいは食材として古くより利用されてきた。食品を積極的に疾病予防や健康増進に役立てようとする世界的な動きにより、既に健康機能を表示した多くの食品が存在する。野菜および果実のフェノール化合物（フィトケミカル）には様々な生理・薬理効果が知られ、健康に役立てられることが期待され、生鮮食品に対する効能表示制度が発足した。しかし、生鮮食品は品種をはじめ種々の条件により、その効能が変化すること等により、効能を表示した生鮮食品は現在2例のみである。そのため、生鮮食品においては品種ごとに、有効成分の構成と薬理効果の明確な因果関係を明らかにしたシステマティックレビューが重要となっている。一方、精神疾患は急増し大きな社会問題となっているが、発症機序の多くは不明である。近年、酸化ストレスや慢性炎症による神経細胞の変性や傷害が、痴呆症からうつ病までの広範な神経疾患の本質的な共通する発症要因になっていると考えられるようになり、酸化ストレスの防御や神経可塑性の回復、ミクログリア細胞における神経炎症反応の制御等が新たな治療標的として研究が進められている。そこで、菊花の主要な薬理作用が抗炎症作用であることに着目し、本研究では、菊花成分の中樞神経細胞に対する作用に関し、成分の分析（第3章）、神経栄養因子様作用（第4章）、酸化ストレス保護作用（第5章）、神経炎症反応の制御（第6章）について、フェノール化合物の組成が大きく異なる栽培品種の阿房宮と延命楽の比較を切り口として検討を行った。

第3章では日本の代表的な食用菊の栽培品種である阿房宮と延命楽について、そのフラボノイド、テルペノイド、クロロゲン酸類等の成分組成を比較した。菊花乾燥重量当たり、溶媒抽出物の約80%はメタノールに可溶性成分で占められ、フラボノイド化合物の組成比の高いことが示唆された。ヘキササン抽出物は延命楽に比べ阿房宮で高い値を示した（5.53% vs. 1.78%）。全フェノール化合物の含有量は阿房宮の方が延命楽に比べ約2倍高い値を示し、栽培品種により大きく異なった。菊花の生理活性に大きく関わる、アピゲニン（apigenin）およびルテオリン（luteolin）の含有量は、延命楽では阿房宮に比べルテオリン含有量が高くアピゲニン含有量が

低い、阿房宮ではその関係は逆となっており、両化合物の存在比の相異は、阿房宮と延命楽のフラボノイド組成の特徴を顕著に表しているものと考えられた。HPLC-DAD 分析結果より、メタノールに可溶な主要な 12 の化合物の約半数はアピゲニン、ルテオリン、およびそれらの配糖体から成ると考えられた。これらの化合物は両栽培品種で共通であったが、その組成比は大きく異なった。GC-MS 分析よりトリテルペノイド組成も両栽培品種で共通であるが、一部組成比が異なった。菊花の生理作用はフェノール化合物に起因するが、食用菊の代表的な栽培品種において、その分子種や組成比が大きく異なっていることが示された。

神経細胞は神経突起伸長および神経回路の再構成を行ない高度の脳機能を維持している。このような神経細胞の新生や生存、修復などは BDNF などの神経栄養因子の働きにより維持されており、神経栄養因子の働きを高めることは神経疾患の治療手段として注目されている。菊花成分は神経栄養因子と似た働きを示すことが知られており、第 4 章では PC12 細胞の突起伸長を指標として、菊花抽出物の神経栄養因子様作用を栽培品種で比較した。菊花抽出物の刺激により突起伸長が誘導されたが、その誘導スコアは低かった(阿房宮;  $25.3 \pm 2.5\%$ , 延命楽;  $26.3 \pm 4.0\%$ )。しかし、菊花抽出物は神経成長因子 (NGF) の突起伸長誘導能を相乗的に高めることが示された(阿房宮;  $69.0 \pm 6.2\%$ )。このことから、菊花成分は突起伸長に対し直接作用する可能性は考えにくい、脳内で神経栄養因子の作用を高め神経回路の再構成や修復に関与する可能性が示された。神経突起伸長の誘導に関わるシグナル伝達路、ERK 経路の活性化は延命楽と比べ阿房宮抽出物で高かったが、突起伸長スコアに差は無く、これらのシグナルは突起伸長に不可欠であるものの、活性化の度合いは突起伸長誘導のスコアとは相関しないことが示された。

神経細胞は酸化ストレスに対して脆弱であり、神経変性疾患の発症や進行の大きな要因となっている。植物の二次代謝物であるフェノール化合物には酸化ストレスを制御する機能が知られており、神経変性疾患の予防や進行の遅延の新薬開発においてはリード化合物として極めて重要と考えられている。第 5 章では、菊花抽出物の神経細胞 (SH-SY5Y) に対する酸化傷害の緩和作用について、栽培品種の比較により検討した。菊花メタノール抽出物は保護作用を示し、延命楽では濃度依存的な保護効果が認められた。しかし、阿房宮では低濃度では保護効果を示すが濃度の上昇に伴い保護作用は低下する二相性を示した。菊花抽出物にはルテオリンなどをはじめとする抗アポトーシス活性をもつ多くのフラボノイド分子種が存在することから、酸化傷害保護作用はアポトーシス誘導の抑制作用の結果と考えられた。また、阿房宮ではアポトーシス誘導を促すフラボノイドである、アピゲニン含有量が高いため高濃度では保護作用が失われたと考えられた。栽培品種による成分組成の相異が、生理作用の特性を大きく変化させることを具体的な例として示した。生体の抗酸化システムである Nrf2-ARE 系は活性酸素種に応答し、抗酸化酵素を誘導して防御機能を果たす。酸化ストレスを負荷する前に神経細胞を菊花抽出物で処理することにより、神経細胞の酸化傷害は緩和された。また、菊花抽出物の処理により神経細胞の Nrf2 と抗酸化酵素 HO-1 の発現量が高まった。以上のことから、菊花抽出物は Nrf2-ARE 系の活性化を介し生体防御機構の能力を高め、神経細胞の酸化ストレスの緩和に役立つ可能性が考えられた。これらの効果はルテオリン含有量の高い延命楽抽出物で高かった。

神経変性疾患の発症機序の多くは不明であるが、神経変性疾患発症の引き金には、ミクログリ

アの活性化や慢性炎症の常態化が共通の要因になっているとの見方が一般化している。第6章においては、菊花抽出物の神経炎症抑制作用を検討した。菊花の各抽出画分についてLPS刺激マクロファージ (RAW264.7) のNO産生抑制作用を検討した結果、ヘキササン抽出画分が最も強い抑制効果を示した。ヘキササン抽出画分に含まれるトリテルペノイドおよびその脂肪酸エステル類が強い抑制活性を示していることが示唆された。脳内の免疫調節で中心的な役割を担うグリア細胞 (MG5) に対する延命薬のヘキササン抽出物の作用を検討した結果、NO産生および炎症性サイトカインであるTNF- $\alpha$ 産生を顕著に抑制した。これらの化合物は血液脳関門を通過し脳内へ到達することが知られており、グリア細胞の活性化を抑制し抗炎症作用を果たす可能性が示唆された。

菊花には優れた消炎、解毒等の薬理作用が明らかにされてきたが、本研究においては、中枢神経であるニューロン細胞、および中枢の免疫反応を制御するグリア細胞に対して酸化傷害保護作用、抗炎症作用を示すことを明らかにした。また、その作用特性は栽培品種によって大きく異なり、栽培品種によりフィトケミカルを構成する分子種や組成比の違いに起因することが示された。

## ABSTRACT

Chrysanthemum flowers have been used for the treatment of inflammation, fever alleviation and detoxification. It is used for food which displayed a healthy function for disease prevention and health promotion actively. Phytochemicals in vegetables and fruits have been reported to exhibit various significant pharmacological effect. Systematic reviews to show clear causal relationships between the active ingredient constitution and the pharmacological effect for variety of fresh food are critical. Meanwhile, psychiatric disorders have rapidly increased and become a major social problem, but many of pathogenic mechanisms are unknown. The degeneration and injury of neurons due to oxidative stress and chronic inflammation, and they are thought to be an essential common cause of neurological disorders from dementia to depression. The protection from oxidative stress, restoration of neural plasticity, control of neuroinflammatory response of microglial cells are being studied as new therapeutic targets. In this study, chemical profile analysis (chapter 3), neurotrophic-like effects (chapter 4), neuroprotective effects (chapter 5) and anti-inflammatory effects (chapter 6) of two typical Chrysanthemum cultivar flowers were compared to examine the correlation between chemical profile and bioactivity.

We investigated the phenolic compounds contents of the extracts from Aboukyu and Enmeiraku flower, which are well known Chrysanthemum spp. cultivars in Japan (chapter 3). About 80% of soluble extracts ingredient was in methanol fraction. The level of hexane extract of Aboukyu was higher than those of Enmeiraku (5.53 % vs. 1.78 %). Aboukyu contained more phenolic compounds compared to Enmeiraku. Contents of luteolin and apigenin were assayed by quantitative HPLC. Enmeiraku contained more luteolin and less apigenin compared to Aboukyu. Two cultivar petal extracts were subjected to HPLC-DAD to characterize the phenolic components. The compounds corresponding to twelve specific peaks are common components of Aboukyu and Enmeiraku flowers, and six peaks were estimated as luteolin, apigenin, and their glycosides. The phenolic compounds differed greatly between two cultivars in terms of the content and composition of luteolin, apigenin and their glycosides. GC-MS analysis also showed that the composition of triterpenoids also differed between two cultivars.

Neurotrophic factors such as BDNF play an important role in regulating differentiation, survival and functional maintenance of neurons, and the microtubule-dependent extension. Reorganization of lost neuronal networks in the injured brain is necessary for restoration of normal physiological functions. Because of these properties, neurogenesis substances are anticipated as promising therapeutic tools for neuronal injuries. In chapter 4, we evaluated the neurogenesis capacity of the petal extracts of two cultivars. Individually, Aboukyu and Enmeiraku extracts only slightly induced neurite outgrowth (Aboukyu;  $25.3 \pm 2.5\%$ , Enmeiraku;  $26.3 \pm 4.0\%$ ). However, in combination with NGF, the extracts acted synergistically to induce full neurite outgrowth in PC12 cells (Aboukyu;  $69.0 \pm 6.2\%$ ). These result suggests the role of chrysanthemum extract in enhancing the neurite outgrowth

activity of NGF. The MAPK family include ERK and p38MAPK, is known to be involved in various cellular events such as survival/death, differentiation and migration. To evaluate the signal transmission pathway for neurite outgrowth during chrysanthemum extract stimulation, we compared the effects of two cultivar extracts on phosphorylated ERK and p38MAPK levels in PC12 cells by immunoblot analysis. The ratio of pERK was higher in the cells treated with Aboukyu extract compared to Enmeiraku. However, there were no significant differences in neurite outgrowth activity between cells treated with two extracts. Phosphorylation of ERK, as an upstream signal, is necessary for neurite outgrowth, however, there was no correlation between strength of ERK activity and the length of neurite outgrowth.

Nerve cells are extremely sensitive to oxidative stress. The injury of glial cells and neurons due to toxicity of free radicals, leading to disorders. The polyphenolics have positive effects on the treatment and prevention of a wide range of oxidative stress injuries. In chapter 5, we compared the bioactive characteristics of two cultivar extracts by analyzing the composition of phenolic components and assessing the neuroprotective. Extracts of Enmeiraku protected neuroblastoma SH-SY5Y cell viability against oxidative stress-induced injury in a concentration-dependent manner. By contrast, the neuroprotective effect of Aboukyu extracts was biphasic and was weakened at concentrations > 25 µg/mL. The differences in the neuroprotective effects of Aboukyu and Enmeiraku extracts might be attributable to the anti-apoptotic capacity of their phenolic compounds as well as compositional differences. The levels of flavonoids such as apigenin that easily induce apoptosis were higher in Aboukyu extract than Enmeiraku extract. Thus, the characteristics of the neuroprotective capacity of chrysanthemum cultivars differed markedly according to the flavonoid composition. The Nrf2-ARE system, a body's antioxidant system, induces expression of antioxidant enzymes in response to reactive oxygen species. Certain phenolic compounds activate the Nrf2-ARE pathway, and activate these defense mechanisms in advance and put the cells in an alert state. Treatment of neuronal cells with chrysanthemum flower extract prior to oxidative stress alleviate the oxidative damage to neuronal cells. In addition, the expression levels of Nrf2 and the antioxidant enzyme HO-1 were increased in neuronal cells treated with chrysanthemum flower extract. These effects were higher with extract of Enmeiraku characterized by a high content of luteolin. These data suggest that chrysanthemum flower extract may enhance the ability of body's defense mechanisms through activation of Nrf2-ARE system, and may help reduce oxidative stress to neurons.

Although pathogenic mechanisms remain unknown for the majority of neurodegenerative diseases, activation of microglia and persistence of chronic inflammation are generally thought to be common triggers of the pathogenesis of neurodegenerative diseases. In chapter 6, the suppressing effect of chrysanthemum flower extract on neuroinflammation was examined. Extracts of solvent fraction from chrysanthemum flowers were assayed for inhibition of NO production by LPS-stimulated macrophages, and the hexane extract fraction showed the most potent inhibitory effect. Triterpenoids and fatty acid esters thereof in the hexane extract fraction were suggested to have a strong inhibitory



activity. The effects of the Enmeiraku hexane extract demonstrated on glial cells, which play a central role in immune regulation in the brain, were markedly decreased production levels of NO and TNF- $\alpha$ . These compounds are known to cross the blood-brain barrier and reach the inside of brain, and suggested to suppress glial cell activation and exert the anti-inflammatory effect.

Although chrysanthemum flowers have been shown to have excellent pharmacological effects such as anti-inflammation and detoxification, the present study showed that chrysanthemum flower extract exerted the protective effect against oxidative damage and the anti-inflammatory effect in neurons and glial cells. This study also showed that its action characteristics varied greatly depending on cultivar, and it was shown that it depends on the species and composition ratio of phytochemical depending on the cultivar.

## 論文の審査結果の要旨

食品を積極的に疾病予防や健康増進に役立てようとする動きが世界的に活発となっており、健康機能を食品に表示できる制度も発足している。野菜や果物などには、様々な生理・薬理作用をもつ非栄養成分（フィトケミカル）が存在し疾病予防への活用が期待されている。しかし、生鮮食品の機能性表示は品種や産地等種々の要因により食品機能が異なるため進んでおらず、健康機能を立証するシステムティックレビューを行うための学術資料が不足しており、その蓄積が求められている。一方、ストレス化社会や国民の高齢化を背景に精神疾患患者は増え続け、大きな社会問題となっている。近年、酸化ストレスや慢性炎症による神経細胞の変性が、種々の神経疾患に共通する発症要因になっていると考えられ、神経細胞の可塑性の改善、酸化傷害の緩和や慢性炎症の制御は神経疾患の新たな治療対象として注目されている。本論文は、菊花が示す優れた抗炎症作用や中枢抑制作用を有することに着目し、菊花成分の中枢神経細胞に対する、神経栄養因子様作用、酸化ストレス保護作用、神経炎症反応の制御について、構成フェノール化合物が大きく異なる、栽培品種の阿房宮と延命楽の比較を切り口として詳細に検討を行ったものである。論文は全7章から構成されている。

第1章は、緒論であり本論文の背景と目的について述べている。

第2章では、実験材料および実験方法を記述している。

第3章では、栽培品種による菊花成分を比較し、フラボノイド組成は延命楽ではルテオリンが多いのに対し阿房宮ではアピゲニンが多く、両栽培品種の組成を特徴づけるものであった。トリテルペノイド組成は類似しているが、一部の組成比が異なっていることを明らかにした。

第4章では、菊花抽出物の神経栄養因子様作用を検討し、菊花抽出物が神経成長因子（NGF）の働きを相乗的に高め、神経細胞の突起伸長を誘導する働きのあることを明らかにし、神経回路の再構成や修復の向上に関与する可能性を示した。

第5章では、菊花抽出物の神経細胞に対する酸化傷害の緩和作用について検討した。ルテオリンの組成比の高い延命楽において濃度依存的な保護効果を観察したことより、活性成分はルテオリンなど細胞保護作用の顕著なフラボノイドであることを明らかにした。アポトーシス誘導を促すアピゲニン含有量の高い阿房宮では、高濃度で保護作用が失われ、これらのフラボノイドの組成比が細胞保護作用を決定することを示した。菊花抽出物は Nrf2-ARE 経路の活性化を介し生体防御機構の能力を高め、神経細胞の酸化ストレスの緩和に役立つ可能性を示唆した。

第6章では、神経炎症の中心的な存在である、ミクログリア細胞に対する菊花抽出物の作用を検討している。菊花成分がグリア細胞の炎症誘発性サイトカインの分泌を抑制することを明らかにし、菊花成分が神経炎症の制御に関与する可能性を示した。また、阿房宮の抑制作用は延命楽に比べ著しく低く、トリテルペノイド組成の比較より、阿房宮では一部の組成比が低いことを認めている。従って、抗炎症作用にはこの低下した成分が関与していることを示した。

第7章は、本論文の結論である。

本論文は、健康に役立てることが期待される食用菊について、その成分の中枢神経細胞保護作用を栽培品種による比較を切り口として、詳細に検討したものであり、食用菊の健康機能に対する理解を進展させる基礎的知見を示している。これらの成果は、今後の食用菊の活用を進める健康機能表示に

繋がる知見を与えるばかりでなく、現在食品の保健機能用途には対象とされていない、食品や天然成分の神経疾患分野における予防医学的な活用に対する検討にも資する内容となっている。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有することを認める。

## 最終試験の結果の要旨

2017年11月30日論文提出、12月6日の予備審査、その後の指導による論文修正を経て2018年2月1日に修正した論文を提出、2月6日に学位論文審査および最終試験を実施した。審査員の指摘事項に対しては再実験を行い、再度論考した結果に基づき追記、修正を行い、論文を完成させた。最終試験においては日本語による論文の発表を行い、論文内容およびこれに関連する事項についての質疑に対し丁寧に答弁を行っている。また、本学位論文の研究成果に関連する学会主催の研究発表会において複数回発表すると同時に、査読付き国際学術論文や大学紀要で公表している。

以上により、生物化学工学の学術分野（天然物化学、応用生物学）に関する十分な専門知識と研究の展開能力を有していると認められ、最終試験は合格と判定する。

氏名	刘 耘
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	博 第 5 5 号
学位授与年月日	平成 3 0 年 3 月 2 0 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	<b>On Modal Choice and Transportation Facilities Development in Cities</b> (都市における交通施設整備と交通機関選択に関する研究)
論文審査委員	(主査) 八戸工業大学教授 武山 泰 (副査) 八戸工業大学教授 長谷川 明 (副査) 八戸工業大学教授 阿波 稔

## 論文の内容の要旨

社会経済発展に伴い、都市機能が徐々に向上し、生活水準も徐々に高まり、住民の交通行動も大きく変化してきている。全世界的に住民の交通手段は、自動車主体に移行し始めており、私的な自動車の利用割合がますます高まってきているが、これが環境問題、渋滞、トリップ効率の低下などの交通問題を引き起こしている。特に発展途上国の大都市では、交通インフラ建設のスピードが上がるにつれ、交通問題が適切に解決されるのではなく、むしろ交通インフラが増加するほどに交通問題が発生している。東京でも、1850 年代以降、同様の交通問題が存在した。しかし、東京は長年にわたる建設と開発によってこれらの問題を解決してきた。現在、東京では公共交通網、特に地下鉄を含む鉄道輸送網が発達しており、あらゆる方向に広がっている。住民の交通モードの構造は大幅に改善され最適化されている。本論文では、都市交通問題や住民の交通行動の構造を東京と比較し、東京における交通施設開発の成功体験と住民の交通行動を最適化した経緯をまとめることで、今後の途上国における開発計画の策定、都市の開発整備、住民の交通モードの調整などの参考としたい。

ここでは「第 5 回首都圏パーソントリップ調査」に基づき、東京の 23 特別区の交通機関分担などについて分析し、東京、北京、上海の行政区についてのクラスター分析や主成分分析の結果との比較を行った。

論文の構成は以下の通りである。

第 1 章では研究の背景、研究目的、研究内容、研究フローを述べた。

第 2 章は文献レビューである。主として交通機関選択行動について、個人およびグループの交通機関選択行動に影響を与える要因、分析手法としてのクラスター分析および主成分分析の適用を含む種々の文献、また、交通機関選択行動に影響を与える巨視的および微視的要因を中心にレビューを行い、国際都市間の比較分析の研究が少ないことを見出した。都市交通発達の主な格差は、比較分析（クラスター分析と主成分分析）によって分類され、都市交通の変遷の経緯と参考文献を示した。

第 3 章では、東京、北京、上海の 3 都市を取りあげ、それぞれの発展、特に鉄道輸送、主要交通政策の発展の歴史的な経緯と道路網の構造を整理した。東京においては、鉄道輸送と都市開発、人口分布が密接な関係にあり、都市の空間拡大と人口の分布は、鉄道輸送と流通の拡大によることを示した。

北京と上海では、人口の集積の後に鉄道輸送の施設整備が行われるなど、異なる状況がみられ、多くの困難と問題に直面している。

第4章では、東京特別区における昼夜の人口分布や人口密度、パーソントリップ調査結果をもとに、人の流れの法則、通勤の流れと通学の流れの生成と規則性、それぞれの方向性について分析を行い、東京における効率的な交通施設の開発経緯をまとめた。東京23区のパーソントリップの流動分布を分析することにより、都心部のサブセンターが良好な交通吸引力と人口再配分機能を持ち、副都心の建設を通じて、都市部における交通流動や人口圧力を効率的に分散できることを示した。

第5章では、都市部の道路網、道路網密度、都市部の道路網面積比などを比較することにより、比較した都市における交通インフラの構築と発展を分析し、鉄道交通網の形成と都市道路網のレイアウトに焦点をあて、都市交通開発における比較都市間の差異から、将来の途上国における交通機関の発展のためのいくつかの提言と対策を提示した。さらに、東京23区の住民の旅行目的と交通機関選択に関する分析から、23区内の住民の主な移動モードの選択肢は、鉄道輸送や歩行の傾向が強く、非公共交通（自家用車など）の割合は、比較都市の中では比較的高く、年々増加していた。東京の大気汚染に関する法律や政策、また様々な交通手段による大気汚染物質の排出特性を分析することにより、発展途上国の都市構造や大気汚染防止のための方向性を探った。交通に起因する大気汚染、東京における大気汚染を規制する法律および措置の概要、東京での交通に起因する大気汚染防止の経験と対策、都市の良好な発展の経緯から、都市住民に対して交通パターンを調整し、大気汚染を防ぎ、大気の質を改善するための指針を示した。

第6章では東京、北京、上海の23区における住民の交通機関分担率のデータをもとに主成分分析を行い、データ標準化、固有値、固有ベクトル、主成分得点を用いて2つの主成分を求めた。主成分1は公共交通機関と歩行、主成分2は自動車と他の交通モードであり、散布図マトリックス、主成分得点などの分布を示した。これより、東京23区、上海市民の移動は主に公共交通に依存しており、北京と上海では住民の交通モードが公共交通機関から自動車志向へと徐々に遷移する傾向を示すことが比較分析された。東京における様々な交通モードの連携から、今後の、他都市における方向性を提供することができる。

最後に、発展途上国の都市に対する、交通計画、建設、開発のための提言をとりまとめた。

## ABSTRACT

With the social and economic development, urban functions are gradually improving, living standards are gradually increasing, and residents' trip modes have also been greatly changed. Residents' trip has started to shift from non-motorized trip to motorized trip and the proportion of private motorized trip is getting higher and higher, but this has led to a lot of traffic problems, such as environmental pollution, traffic congestion and low trip efficiency, especially in the developing cities, as the speed of traffic infrastructure construction increases, it does not solve the traffic problem very well, instead, the more traffic infrastructure the more traffic problems occur. In Tokyo, there are the similar traffic problems since the 1850s, with serious air pollution and traffic congestion. However, Tokyo has successfully solved these problems with many years of construction and development. Now, Tokyo has a well-developed public transport network, especially the railway transport network, extends in all directions. The structure of residents' trip modes has been greatly improved and optimized. In the dissertation, summarizing and combing the successful experience of Tokyo transportation development and optimizing the structure of residents' trip modes, comparing with Tokyo, combing the problems of urban traffic and the structure of residents' trip modes with that of Tokyo, it can provide reference for the traffic planning, improvement of the developing cities and the adjustment of residents' trip modes, etc.

Based on the “5th Tokyo metropolitan area personal trip survey”, this paper used the Ward hierarchical clustering algorithm in cluster analysis to cluster 23 wards of Tokyo and the principal component analysis was used to analyze and compare the principal component of modal choices data in 23 wards of Tokyo, Beijing and Shanghai.

1. Analyzed the research background, proposed the research purpose, the research content and research flow.

2. The literature is reviewed and summarized, including: the development of traffic pattern structure and modal choices influencing factors (individual and group factors), development and application of cluster analysis and principal component analysis. Putsforward own conclusions, the research mainly concentrates on the influence of macroscopic factor and microcosmic factor on residents' trip, and then found the research of comparative analysis between international cities is lesser. The main gap of urban traffic development can be sorted out by comparison and analysis (cluster analysis and principal component analysis), and the experience and reference of urban transportation are provided.

3. The development history of Tokyo, Beijing and Shanghai, especially the rail transit, the main traffic policy history and road network structure are sorted out, and found that the development of Tokyo rail transit and urban development, population distribution has a close relationship, urban spatial expansion and population distribution are with the expansion of rail transit and distribution, and Beijing and Shanghai appeared different situations, the development of rail transit after the

urban development is a certain extent, there are many difficulties and problems need to face.

4. Based on the distribution of population and population density in the three Circles of Tokyo special wards during the day and night, analyzed the law of population flow, the generation and regularity of commuting flow and school-based flow and the orientation trend in each Circle, summarized the development experience of efficient transport in Tokyo. Through the analysis of the trip distribution in Tokyo 23 wards, it is found that urban sub-centers have good traffic attraction and population redistribution functions, the traffic distribution can be effectively carried out through the construction of urban sub-centers so as to relieve traffic pressure in the urban center and balance urban traffic pressure.

5. By comparing the composition of urban road network, road network density and urban road network area ratio, analyzed the construction and development of traffic infrastructure in comparative cities and focuses on the formation of rail transit network and the layout of urban traffic routes, found the differences and gaps between comparative cities in urban transport development, proposed some advices and measures for the developing cities in development of future traffic development.

Statistics and analysis of the residents' trip purpose and modal choices in 23 wards in Tokyo show that the residents' main trip modal choices in 23 wards tend to rail transit and walking, but the proportion of non-public transport (private cars, etc.) is relatively high in comparative cities and with the increase year by year.

Collating and analyzing air pollution caused by air pollutants from various modes of trip and laws and policies governing air pollution in Tokyo can provide a good direction and successful experience for structural adjustment and air pollution control of residents in developing cities.

The air pollution caused by traffic pollutant emission, laws and measures to govern air pollution in Tokyo are summarized and analyzed, proposed experience and measures of air pollution control caused by traffic in Tokyo, that can provide a good development direction and successful experience for the urban residents to adjust their traffic patterns, prevent air pollution and then improve the air quality.

6. Principal component analysis was used to analyze the principal components based on the data of residents' trip mode share in 23 wards of Tokyo, Beijing and Shanghai and 2 principal components were obtained through the data standardization, eigenvalues, eigenvectors and principal components. Principal component 1 is public transportation and walking, Principal component 2 is motor vehicles and other trip modes, and through the scatter plot matrix, the distribution of the main component score and other means, the 23 wards of Tokyo, Beijing and Shanghai residents' trip modes structure were compared, analyzed and concluded that residents trips in Tokyo are mainly rely on public transport, and that Beijing and Shanghai are gradually formed the trend that residents' trip mode transform from public transportation to motor vehicle. And the relationship of various trip modes in Tokyo can provide references to the other cities in the future.

Finally, the advice and suggestions are put forward for the transportation planning, construction and development of developing cities.

## 論文の審査結果の要旨

### 【本論文の研究背景】

発展途上国の都市においては、地下鉄をはじめとする交通施設整備も急速に進んでいるものの、モータリゼーションの進展も著しく、渋滞や大気汚染などの問題が生じている。

本研究においては、交通施設や交通サービスの整備の進め方が人々の交通機関選択行動に影響することを仮説として、東京、北京、上海の 3 都市における交通施設整備、交通機関選択、大気汚染状況について分析した。

### 【論文各章の構成】

序章と文献レビューにつづいて、第 3 章では、東京、北京、上海における交通施設整備の歴史的な経緯を分析した。東京では、民間鉄道会社が主体となって、公共交通志向型の都市開発が進められたことなどから軌道系の交通機関をメインに、徒歩や自転車など自動車以外の交通手段が利用されていることを明らかにした。

第 4 章では、東京 23 区の昼夜の人口分布や、パーソントリップ調査結果をもとに、人の流れの法則、通勤や通学の流れの生成と規則性、について分析を行った。クラスター分析に基づき、23 区を 3 つのクラスターに分類し、都心やサブセンターが良好な交通吸引力と人口再配分機能を持つことを示した。

第 5 章では、都市部の道路網、道路網密度、都市部の道路網面積比などを比較することにより、比較した 3 都市における交通インフラの構築と発展を分析し、鉄道交通網の形成と都市道路網のレイアウトに焦点をあて、都市交通開発における比較都市間の差異から、将来の途上国における交通機関の発展のためのいくつかの提言と対策を提示した。5.6 節では、それぞれの都市における大気汚染について分析を加えた。

第 6 章では東京、北京、上海の 23 区における住民の交通機関分担率のデータをもとに主成分分析を行い、公共交通機関と歩行の第 1 主成分と、自動車と他の交通モードを示す第 2 主成分を見出した。これより、東京 23 区、上海市民の移動は主に公共交通に依存しており、北京と上海では住民の交通モードが公共交通機関から自動車志向へと徐々に遷移する傾向を示すことが分析された。東京における様々な交通モードの連携から、今後の、他都市における方向性を提供することができる。

最後に、発展途上国の都市に対する、交通計画、建設、開発のための提言をとりまとめた。

### 【審査要約】

本論文における、都市における交通施設整備と交通機関選択行動についての分析は、特に開発途上国における渋滞や自動車による大気汚染などの問題を抱える都市に示唆を与える成果であると評価された。以上の審査の結果、本論文の著者は博士(工学)の学位を授与される十分な資格を有するものと認め、論文審査を「合格」とした。



## 最終試験の結果の要旨

最終試験を2月16日、本専攻のA201において実施した。

論文は英文で記述され、発表および質疑も英語により行われ、当該学生が十分な英語能力を有することを確認した。また、本研究においては、各種の統計および調査データの分析を行うとともに、統計的分析手法としてクラスター分析および主成分分析を適用しており、十分な分析能力を有することが確認できた。以上、審査の結果、本論文の著者は博士(工学)の学位を授与される十分な資格を有するものと認め、最終試験を「合格」とした。





