

第7章 考察と今後の課題

7. 1 自動車交通量指標の統計的特性に関する分析結果の総括

本研究では、第3章から第5章にかけて、自動車交通量指標の統計的特性について分析を行った。ここではそれらの分析結果を、本研究の目的に照らし合わせて総括する。

7. 1. 1 自動車交通量に関わる各種指標の季節変動

分析に先立つ第2章で、【自動車交通量について長期にわたり広域的に確固として通用する共通の季節変動パターンが存在するならば、それをそのまま任意の調査対象区間に適用することにより、従来の道路交通センサスが交通変動現象を把握できないという問題点を克服できる】という解決の見通しを立てた。そして第3章および第4章で、自動車交通量指標についての季節変動の特性を分析するとともに、本研究が提案する解決方法の前提となる点、すなわち【自動車交通量に関する各種指標について、長期に渡り広域的に確固として通用する共通の季節変動パターンが存在するかどうか】を検証した。

まず第3章では、日交通量（総台数および車種別）、日ピーク率、日ピーク時の大型車混入率・貨物車率、昼夜率に着目し、これらの日単位指標について季節変動特性係数を抽出し、日々の変動の分散構成を確認し、季節変動の統計的有意差や季節変動パターンの強さ（系列相関係数）を確認した。さらに抽出した季節変動特性係数の年度間類似性および地点間類似性を確認した。結果として、いずれの着目指標についても、季節変動と偶然変動が日々の変動に大きな影響を及ぼしており、季節変動が統計的にも有意差を及ぼしていることが分かった。このことは、交通の変動現象が統計的に無視できない規模に及んでおり、従来の道路交通センサスのような平日と休日1日ずつの平均的な観測値では、年間を通じた分布を把握することが不可能であることが示された。また季節変動の強さを確認した結果、いずれの着目指標についても、土日も含めた場合では、曜日の季節変動に関する系列相関係数が非常に高かったが、平日のみの場合では、偶然変動が曜日の季節変動の影響を凌ぐ程の大きな影響を及ぼしていることが分かった。また曜日の期間区分別の標本集団ペアの統計的有意差を確認した結果、多くの着目指標について、日・月・金・土曜日の区別の標本集団を含むペアで有意差出ることが多かった。さらに年度間類似性および地点間類似性についても、曜日の季節変動特性係数の類似性指標が非常に高いことが分かった。以上より、曜日の季節変動が日々の変動の中で支配的であり、曜日の季節変動パターンが繰り返し現れる傾向が非常に強いと考えることが出来る。また日々の変動の中でも支配的な影響力を及ぼす曜日の季節変動パターンは、長期に渡り広域的に当てはまる傾向が強いので、この傾向を利用して、曜日の季節変動に関する標準的パターンを任意の調査対象区間に適用することにより、交通変動現象を日単位で再現できる可能性は非常に高いと期待できる。

ところで車種別日交通量の季節変動をみると、車種により傾向が異なっていた。また日交通量変動の標準偏差は総台数の場合よりも車種別の方が大きくなっており、車種別日交通量の変動が、ある程度、相殺されて総台数の日交通量変動が形成されていることが分かった。

さらに日ピーク率や昼夜率の日々の変動の標準偏差は、日交通量のそれに比べて低くなっていた。このことより、日単位の指標と別の日単位の指標の比をとった日単位指標については、2つの日単位指標の季節変動パターンが同調することにより、季節変動の影響が、ある程度、相殺される可能性があることが示された。

第4章では、【方向別時間交通量の方向別日交通量に対する比】と【時間別方向比】に着目し、これらの指標の時間単位の季節変動特性係数を抽出し、季節変動パターンの強さ(系列相関係数)を確認した。さらに抽出した季節変動特性係数の年度間類似性および地点間類似性を確認した。結果として、いずれの着目指標についても、系列相関係数が非常に高く、時間単位の季節変動のパターンが強いことが分かった。また年度間類似性についても、いずれの指標についても非常に高いことが分かった。一方、地点間類似性については、【方向別時間交通量の方向別日交通量に対する比】の類似性指標が、曜日別に時間単位係数を抽出した場合でも、平日・土曜・休日別に時間単位係数を抽出した場合でも非常に高いことが分かった。一方、【時間別方向比】の地点間類似性は低いケースがほとんどであった。以上より、【方向別時間交通量の方向別日交通量に対する比】の季節変動パターンが長期に渡り広域的に当てはまる傾向が強いので、この傾向を利用して、標準的な【方向別時間交通量の方向別日交通量に対する比】の季節変動パターンを任意の調査対象区間に適用することにより、交通変動現象を時間単位で再現できる可能性は非常に高いと考えられる。

7. 1. 2 自動車交通量指標の年間分布の連続型母分布による近似

分析に先立つ第2章で、【自動車交通量について長期にわたり広域的に確固として通用する共通の連続型母分布による近似が可能であるなら、それをそのまま任意の調査対象区間に適用することにより、従来の道路交通センサスが交通変動現象を把握できないという問題点を克服できる】という解決方法の見通しを立てた。そして第5章で、本研究が提案する解決方法の前提となる点、すなわち【自動車交通量に関する各種指標について、長期に渡り広域的に確固として通用する共通の連続型母分布の母数が存在するかどうか】を検証するとともに、連続型母分布により年間分布を近似する際における季節変動の影響を分析した。

第5章では、日交通量、時間交通量の年間交通量に対する比、日ピーク率、日ピーク時の大型車混入率・貨物車率、昼夜率に着目し、これらの指標の正規分布およびベータ分布への適合度を確認した。結果として、全ての指標に関して、全標本を含む度数分布で理論分布への適合度検定を行うと、適合率がそれほど大きくなり、指標によっては適合率が非常に低くなることが分かった。一方で、度数分布に含める標本の曜日や時間帯を限定してやることにより、いずれの指標についても、理論分布への適合率が大幅に上昇することが分かった。

以上より今回着目した指標に関しては、そのままでは正規分布やベータ分布といった理論分布により年間分布をそのまま近似することは難しく、年間分布の母数の時間的・空間的な類似性を検証する以前の問題として、まずは曜日や時間の季節変動の影響を受ける側面と、理論分布に従う側面を慎重に分離した上で、体系的に年間分布を再現する方策をまず検討する必要があるという結論に至った。

7. 2 自動車交通量指標の統計的特性を利用した推定手法の総括

本研究では、第6章において、それまでの章で明らかにした季節変動特性を利用して、いくつかの自動車交通量指標を推定（もしくは予測）する4つの手法を提案し、その推定精度（もしくは予測精度）を確認した。ここではその分析結果を、本研究の目的に照らし合わせて総括する。

まず本研究が提案した手法には、成立する局面が非常に限られている前提条件に立脚している側面があった。すなわち「長期間に渡り広範囲に通用する共通の季節変動パターンが存在すること」を前提とするだけでなく、「その季節変動パターンが推定対象道路断面に適用可能であること」も前提としなければならない手法である。今回の研究では、たかだか22か所の道路断面しか分析していないので、季節変動に関する情報が全く存在しない道路断面に対して、既知の最適な季節変動パターンを適用できるような一般化された手法を構築することは、本研究の範疇を超えている。今回分析した季節変動特性を利用した各種交通指標の推定手法が適用可能となる前提条件をより一般化することは、今後の課題である。

また第6章では、いくつかの道路断面を、その季節変動特性係数をクラスタリングした上で、クラスターごとに季節変動特性係数の平均を取り、その平均を【長期間に渡り広範囲に通用する準普遍的な季節変動パターン】とみなせば、本研究が提案する推定手法を利用することにより、非常に高精度で年間平均日交通量や、日交通量および時間交通量の季節変動を反映した年間分布、そして年間30番目時間交通量特性であるK値、D値を推定できることを示した。季節変動特性のクラスター平均を使用し、任意の月の第2、3週の火・水・木曜における日交通量観測値が得られれば、そこから平均誤差2.3%程度で年間平均日交通量を、平均誤差3.8%で日交通量の年間分布を、平均誤差5.5%で時間交通量の年間分布を推定できることを示した。また同じく季節変動特性のクラスター平均を使用し、季節変動パターンが安定している日の10時～18時台の1時間交通量が得られれば、そこから平均誤差7.5%でK値を、平均誤差2.7%でD値を推定できることも示した。なお過年度の季節変動特性係数を利用した場合でも、同水準の予測精度が得られた。

これらの結果より、「長期間に渡り広範囲に通用する共通の季節変動パターンが存在すること」と「その季節変動パターンが推定対象道路断面に適用可能であること」という前提条件が満たされれば、本研究の提案手法は、従来の道路交通センサスが変動を把握できないという問題点を克服する上で、非常に有効であると言える^{*1}。とりわけ、年間平均日交通量を高精度で推定できる点は、従来の道路交通センサスのように、1年の特定時期に調査を集中させなくても、季節変動パターンを利用することにより、特定時期に限定されない時期での調査結果から、平均的な断面交通量の傾向を把握できることを意味する。つまり季節変動パターンに関する前提条件が満たされれば、1日調査をして本研究の提案手法を用いれば、いつでも信頼性の高い代表値を得られることになる。

なお年間30番目時間交通量に該当する時間帯の大型車混入率については、季節変動特性のクラスター平均を使用した場合の推定誤差平均が約35%となり、今回のアプローチで推定することは困難であることがわかった。

また第6章では、日ピーク時間の特性値を、年間30番目時間交通量特性値の代替値として利用した際の推定誤差も確認した。結果として、慣例の交通量調査日である秋季平日の日ピーク時間特性を使用すれば、全道路断面平均でK値については誤差5.7%、D値については誤差1.2%、年

間 30 番目時間交通量の大型車混入率については誤差 5.3%で推定できることを示した。しかし K 値および年間 30 番目時間交通量の大型車混入率についての推定誤差絶対値は、道路断面によって十数%になることもあり、代替する際には注意が必要である。

7. 3 交通量常時観測データを利用した道路交通サービスの可能性

交通量常時観測データを利用して、長期間にわたり広域的に通用する季節変動パターンを特定すれば、本研究で実施したような自動車交通量指標の年間分布を推定結果を、実用的な用途にも応用することができると考えられる。

例えば、交通量常時観測データから抽出される季節変動パターンを利用して日交通量や時間交通量の年間分布を推定すれば、年間を通じて交通量が少ない日時や多い日時を予測することが出来るであろう。日交通量や時間交通量の予報は、運転計画を立てなければならないドライバーや事業主体にとって有益な情報となる。

更には予測された日交通量及び時間交通量の年間分布に基づいて、道路交通に関わる騒音や排気ガスなどの環境負荷の年間分布を予測すれば、これら環境負荷に曝される歩行者・自転車等の交通弱者のトリップを、負荷の小さい経路や時間帯に誘導することが出来るようになるであろう。

また常時観測時間交通量を即座にデータセンターにアップロードし処理することが可能な環境が整っていれば、1時間前の時間交通量が、季節変動パターンから極端に逸脱した異常値を示しているかどうかを自動的に判定することも可能であろう。更にドライバーに対する即時フィードバック通信が可能な環境も整っていれば、時間交通量が異常であることが即時にドライバーに伝達され、渋滞や交通事故などによる社会的損失を回避・軽減できるように経路誘導することが可能になるであろう。

尤も、上記の道路交通サービスを実際に実現するためには、更なる研究と実証が必要とされるため、ここでは可能性を言及するだけにとどめる。また実際に道路交通サービスへの応用を検討する際には、具体的なサービスが必要とする予測・推定精度が確保できるかどうかも課題になるが、今回の事例分析による日交通量及び時間交通量の年間分布に関わる予測・推定結果では、実際値との相違の比率は数%程度に抑えられており、本研究の提案手法が適用可能な局面は多いことが期待できる。

7. 4 今後の課題

まず既に述べているように、本研究の提案手法は、成立する局面が非常に限られている前提条件に依存している。その意味において、本研究の提案手法は、まだ実用可能性に乏しいことは否定できない。ある道路断面において全く季節変動に関する情報がない状態から、長期間に渡り広範囲に通用する共通の季節変動パターンを特定する方策を検討するのは、今後の課題である。

また今回のクラスタリング分析結果で判明したように、長期間に渡り広範囲に通用する共通の季節変動パターンがただ一つだけ存在するわけではなく、周辺の社会経済特性や道路断面特性に応じて季節変動パターンが、複数存在する可能性も高い。周辺の社会経済特性や道路断面特性に応じて、最適な季節変動パターンを特定する方策を開発することも課題である。

これら2つの課題に取り組む際には、本研究で求められた季節変動特性係数自体の分布の母数に関する情報も役立つと考えられる。

さらに異なる道路断面間において季節変動パターンの類似に結びつくことが保証される社会経済特性や道路断面特性の共通点を厳密に特定することも課題である。季節変動と社会経済特性・道路断面特性の関係についての情報を充実化させていく上では、従来型の交通量常時観測装置だけでなく、近年普及しつつある可搬式トラフィックカウンターを積極的に組み合わせて連携活用することにより、コストを抑えつつ効率的に情報を収集する調査手法を検討することも課題である。

また本研究では、各種指標の年間分布の理論分布による近似性が、季節変動から影響を受けていることが示された。自動車交通量に関する指標の変動特性の内、季節変動に従う側面と理論分布に従う側面を慎重に切り分けて、季節変動と偶然変動の影響を体系的に整理して組み合わせて、より高精度に変動を再現する方策を検討することは、今後の課題である。

なお本研究の事例分析では、偶然変動の期待値を一律0とみなして年間分布などの推定を行ったが、偶然変動による影響も考慮して推定を行うことにより、各種交通指標の年間分布や年間30番目時間交通量に関する推定結果をより改善することが出来るかもしれない。

さらに本研究では2. 5節で説明したとおり、異常気象や連休などの特異日データを除いて解析を行っており、特異日にかかわる特殊な変動の影響の及ばない範囲で分析を行った。これらの特殊な変動の影響も含めた変動現象の総合的再現も、今後の課題としてあげられる。

章末補足

※1 河野等 2010[1.3]では、交通量常時観測データを使用して、常時観測されていない隣接区間の日交通量や時間交通量を推定する手法について提案しているが、これらの推定手法では、常時観測地点に関連する交差点の流出入交通量を加減算することを基本として非観測区間の交通量を推定しており、季節変動特性は利用されていない。しかし本研究の様に、影響力が強く長期的・広域的に類似しているパターンを持つ季節変動特性を活用すれば、交通量推定が可能となる区間を隣接区間だけでなく、より多くの道路断面に広げることが可能となるであろう。

また河野等 2011[2.9]では、前月や前年の平均値を用いて、交通量常時観測データの欠損値補完や異常値特定を行うことが提案されており、季節変動特性は利用されていない。ここでも季節変動特性を利用すれば、欠損値補完や異常値特定の精度を向上させることが可能となるであろう。

参考文献

- [1.1] 池之上 慶一郎： 交通量の変動、技術書院、pp. 30-45、1966 年。
- [1.2] 大蔵 泉： 交通工学、コロナ社、pp. 114-116、1993 年。
- [1.3] 河野友彦、橋本浩良、上坂克己、五十嵐一智： 交通量常時観測データを用いた隣接区間の交通量推定方法に関する研究、土木計画学研究・講演集、Vol. 41、2010
- [1.4] 上坂克己、門間俊幸、橋本浩良、松本俊輔、大脇鉄也： 道路交通調査の新たな展開～5 年に 1 度から 365 日 24 時間へ～、土木計画学研究・講演集、Vol. 43、2011
- [1.5] 鹿島 茂他： 道路交通統計のあり方 - 「道路交通統計のあり方」プロジェクト、日本交通政策研究会、日交研シリーズ、A-244、pp. 2-14、1998 年 10 月。
- [1.6] 高田邦道、(社)交通工学研究会交通技術研究小委員会： 交通調査実務の手引き、(社)交通工学研究会、pp. 1-12、2008 年 7 月。
- [1.7] 小塚 清、橋本浩良、水木智英、松本俊輔、門間俊幸： 平成 22 年度道路交通センサス一般交通量調査結果の概要、土木技術資料 55-3、2013 年。
- [1.8] 国土交通省： 平成 22 年度全国道路・街路交通情勢調査（道路交通センサス）一般交通量調査集計表、箇所別基本表及び時間帯別交通量表に関する説明資料、<http://www.mlit.go.jp/road/census/h22-1/data/kasyorep.pdf>、2013 年 11 月 18 日。
- [1.9] Naiwala Chandrasiri, Kazunari Nawa, Akira Ishii, Shuguang Li, Shigeyuki Yamabe, Takayuki Hirasawa, Yoichi Sato, Yoshihiro Suda, Takeshi Matsumura, Koji Taguch, *Driving skill analysis using machine learning: the full curve and curve segmented cases*, The International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications (ITST) 2012.
- [1.10] 国土交通省： 次世代の ITS、http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/spot_dsrc/files/panfu.pdf、2013 年 11 月 18 日。
- [2.1] 鹿島 茂他： 道路交通統計の精度改善手法の開発 - 交通量調査の精度、日本交通政策研究会、日交研シリーズ、A-268、pp. 2-30、1999 年 12 月。
- [2.2] 鹿島 茂他： 道路交通統計の精度改善手法の開発(その 2) - 交通量調査の精度、日本交通政策研究会、日交研シリーズ、A-277、pp. 4-50、2000 年 4 月。
- [2.3] 蛭阪 隆： 車両感知器データを用いた交通量変動特性の一分析、科学警察研究所報告交通編、Vol. 41、No. 2、pp. 38-45、2001 年 3 月。
- [2.4] 岸根 卓郎：理論応用 統計学（改定第 2 版）、養賢堂、pp. 155, 188, 229、1968 年 5 月。
- [2.5] 飯田 恭敬、高山 純一： 高速道路における交通量変動特性の統計分析、高速道路と自動車、第 24 巻、第 12 号、pp. 22-32、1981 年 12 月。
- [2.6] 岸根 卓郎：理論応用 統計学（改定第 2 版）、養賢堂、pp. 237、1968 年 5 月。
- [2.7] 岸根 卓郎：理論応用 統計学（改定第 2 版）、養賢堂、pp. 185、1968 年 5 月。
- [2.8] 平成 12 年度 都内自動車交通量調査報告書、東京都環境局、2002 年 3 月。
- [2.9] 河野友彦、橋本浩良、門間俊幸、上坂克己： 交通量常時観測データの補完方法に関する研究、土木計画学研究・講演集、Vol. 43、2011

- [2.10] Wikipedia：首都高速道路、
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%A6%96%E9%83%BD%E9%AB%98%E9%80%9F%E9%81%93%E8%B7%AF>、
2014年2月4日。
- [2.11] Wikipedia：首都圏中央連絡自動車道、
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%A6%96%E9%83%BD%E5%9C%8F%E4%B8%AD%E5%A4%AE%E9%80%A3%E7%B5%A1%E8%87%AA%E5%8B%95%E8%BB%8A%E9%81%93>、2014年2月4日。
- [2.12] Wikipedia：東京外環自動車道、
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%9D%B1%E4%BA%AC%E5%A4%96%E7%92%B0%E8%87%AA%E5%8B%95%E8%BB%8A%E9%81%93>、2014年2月4日。
- [2.13] Wikipedia：首都高速中央環状線、
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%A6%96%E9%83%BD%E9%AB%98%E9%80%9F%E4%B8%AD%E5%A4%AE%E7%92%B0%E7%8A%B6%E7%B7%9A>、2014年2月4日。
- [2.14] Wikipedia：第三京浜道路、
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%AC%AC%E4%B8%89%E4%BA%AC%E6%B5%9C%E9%81%93%E8%B7%AF>、
2014年2月4日。
- [2.15] Wikipedia：首都高速3号渋谷線、
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%A6%96%E9%83%BD%E9%AB%98%E9%80%9F3%E5%8F%B7%E6%B8%8B%E8%B0%B7%E7%B7%9A>、2014年2月4日。
- [2.16] Wikipedia：首都高速4号新宿線、
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%A6%96%E9%83%BD%E9%AB%98%E9%80%9F4%E5%8F%B7%E6%96%B0%E5%AE%BF%E7%B7%9A>、2014年2月4日。
- [2.17] Wikipedia：関越自動車道、
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%96%A2%E8%B6%8A%E8%87%AA%E5%8B%95%E8%BB%8A%E9%81%93>、
2014年2月4日。
- [2.18] Wikipedia：首都高速川口線、
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%A6%96%E9%83%BD%E9%AB%98%E9%80%9F%E5%B7%9D%E5%8F%A3%E7%B7%9A>、2014年2月4日。
- [2.19] Wikipedia：首都高速6号三郷線、
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%A6%96%E9%83%BD%E9%AB%98%E9%80%9F6%E5%8F%B7%E4%B8%89%E9%83%B7%E7%B7%9A>、2014年2月4日。
- [2.20] Wikipedia：首都高速7号小松川線、
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%A6%96%E9%83%BD%E9%AB%98%E9%80%9F7%E5%8F%B7%E5%B0%8F%E6%9D%BE%E5%B7%9D%E7%B7%9A>、2014年2月4日。
- [2.21] 道路の交通容量、社団法人 日本道路協会、pp. 78-87、1984年9月。
- [2.22] 道路構造令の解説と運用（改訂版）、社団法人 日本道路協会、pp. 139-142、2004年2月。
- [2.23] 塚田 幸広、桐山 孝晴、保久原 均、濱谷 健太：道路の交通容量における新しい設計法
に関する検討（国土技術政策総合研究所資料 第317号）、国土交通省 国土技術政策総合研究所、
2006年3月。

- [2.24] 改定 平面交差の計画と設計 基礎編、社団法人 交通工学研究会、pp. 77-79、2007年8月.
- [2.25] 武部 健一：道路の計画と設計（交通工学実務双書-5）、社団法人 交通工学研究会、pp. 14-22、1988年5月.
- [2.26] Werner Brilon, Hendrik Zurlinden, Justin Geistefeldt（翻訳：末岡 真純、校閲：中村 英樹）：アウトバーンにおける交通流の年間解析、高速道路と自動車、第19巻、第2号、pp. 87-96、2006年2月.
- [2.27] Pawan Lingras: Traffic Volume Time-Series Analysis According to the Type of Road Use, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 15, pp.365-373, 2000.
- [2.28] Zhaobin Liu, Satish Sharma: Statistical Investigations of Statutory Holiday Effects of Traffic Volumes, Transportation Research Board of the National Academies, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1945, pp. 40-48, 2006.
- [2.29] 石井 陽、鹿島 茂：一般道路における自動車日交通量変動特性に関する研究、社団法人 交通工学研究会、第28回交通工学研究発表会論文報告集、pp. 265-268、2008年10月.
- [2.30] 石井 陽、鹿島 茂：一般幹線道路における自動車時間交通量変動特性に関する研究、社団法人 交通工学研究会、第29回交通工学研究発表会論文集(CD-ROM)、2009年12月.
-
- [3.1] 岸根 卓郎：理論応用 統計学（改定第2版）、養賢堂、pp. 190-191、1968年5月.
- [3.2] 河口 至商：多変量解析入門 I、森北出版株式会社、pp. 3-33, pp. 95-107、1973年6月.
- [3.3] 永田 靖、棟近 雅彦：多変量解析法入門、サイエンス社、pp. 43-98、2001年4月.
- [3.4] 東京大学教養学部統計学教室 編：基礎統計学Ⅲ 自然科学の統計学、東京大学出版会、pp. 145-151、1992年8月.
-
- [5.1] 岸根 卓郎：理論応用 統計学（改定第2版）、養賢堂、pp. 329-333, pp. 358-365、1968年5月.
-
- [6.1] R: K-Means Clustering , R Documentation,
<http://stat.ethz.ch/R-manual/R-devel/library/stats/html/kmeans.html>, 2013 Nov.
-
- [7.1] Jeffrey R. Kenworthy・Felix B. Laube: An International Sourcebook of Automobile Dependence In Cities 1960-1990, 1999
- [7.2] 望月 美久仁、鹿島 茂：都市形態が交通エネルギー消費量に与える影響の分析、第9回環境情報科学論文集、pp. 109~114、1995/11.
- [7.3] サムエル バロン、高橋 尚子、鹿島 茂：都市形態が交通エネルギー消費量に与える影響の分析、第17回環境情報科学論文集、pp. 235~240、2003/11.
- [7.4] 石井 陽、鹿島 茂：都市構造が交通エネルギー消費量に与える影響の分析、第21回環境情報科学論文集、pp. 619-624、2007/11.

