

平成21年 5月 27日現在

研究種目：基盤研究 (B)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18360245
 研究課題名(和文) 高度車両挙動観測技術を利用した道路交通サービス水準の診断評価システムに関する研究
 研究課題名(英文) A Study of Diagnosis and Evaluation System for Level of Service of Road Transportation Using Advanced Observation Technologies of Traffic Flow
 研究代表者
 宇野 伸宏 (UNO NOBUHIRO)
 京都大学・経営管理研究部・准教授
 研究者番号：80232883

研究成果の概要：本研究では IT を利用した車両走行挙動に関する観測システムを用いて、道路網の交通サービスの質を多面的に評価し、サービス水準向上策の選定に資する総合的な診断評価システムの構築を試みた。バスプローブデータ等を用いて、所要時間信頼性の考え方に基づき、道路構造・運用、交通需要特性等の影響も加味した形で、サービス水準の評価方法を構築した。交通錯綜部のサービス水準診断・評価に、画像観測データを適用し渋滞発生メカニズムの解明法を提案するとともに、交通シミュレーションの基礎モデルとして、車両間の多様性を考慮した追従モデルを構築した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	6,500,000	1,950,000	8,450,000
2007年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2008年度	3,200,000	960,000	4,160,000
年度			
年度			
総計	12,700,000	3,810,000	16,510,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：(分科)土木工学 (細目)土木計画学・交通工学

キーワード：道路ネットワーク，サービス水準，所要時間信頼性，ITS，プローブカー，画像データ，交通錯綜，シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

道路交通システムは私たちの日々の暮らしを支える社会基盤として必要不可欠のものであり、円滑かつ安定的な交通サービスの提供が求められていることは明らかである。一方、自動車利用による交通需要の増加に比して、特に都市部においては、道路ネットワークの整備水準は必ずしも十分とはいえず、ネットワーク上の多くの箇所におい

て、渋滞の発生・所要時間の増加・所要時間変動が観測されている。

円滑かつ安定的な交通サービスを提供するためには、道路ネットワークのサービス水準を定量的に評価するとともに、サービス水準の低下を招く原因の特定・診断を行い、その結果を踏まえて、道路交通マネジメントの高度化をはかることで、提供サービス水準を向上させることが強く望まれる。適切なマネジメントのためには、上記の通り、道路ネッ

トワークのサービス水準に対する適切な評価・診断が必要であり、そのためには、交通状態の時間的・空間的変動を把握可能なデータの収集が必要となる。本研究課題においては、高度道路交通システム ITS (Intelligent Transportation Systems) の開発・実用化のプロセスを通して普及してきた、車両走行挙動の観測技術の活用が可能であり、具体的には、プローブ調査手法ならびに画像観測・画像処理技術を、その評価対象の空間的広がりや必要データの時間的・空間的な詳細度に応じて適宜使い分けることを念頭に置いて、研究計画を立案した。

2. 研究の目的

本研究では、車両走行挙動に関する IT を利用した観測システムを用いて、道路交通ネットワークが提供するサービスの質を多面的に評価し、サービスレベルの向上に向けて、どのような対応策をとるべきか診断するための総合的な診断評価システムの構築を目指す。車両挙動に関する観測データとしては、診断評価レベルの空間的な広がり、分析の詳細度に応じて使い分けることとなるが、基本的にはプローブカーによる車両走行データならびに交通流の画像観測データを用いることとする。加えて、個人情報保護に十分留意した上で、高速道路を対象とした所要時間信頼性の実証的評価法を ETC (Electric Toll Collection system) データを活用して構築する。本研究では、具体的には、次のサブテーマに取り組むこととする。すなわち、(1) 時間信頼性指標に基づく交通ネットワークのサービスレベル診断評価手法構築、(2) 道路リンクの構造・運用特性と提供サービスレベルの関係分析、(3) 画像観測データを用いたノード (交差点・IC) レベルのサービス水準診断評価手法構築、(4) 交通錯綜を考慮したマイクロシミュレーションモデルの構築、および(5) 道路交通サービス水準診断評価システム構築の5テーマである。

3. 研究の方法

(1) 時間信頼性指標によるサービス水準診断

時間信頼性とは、交通サービスの安定性を評価する上で重要な考え方であり、一般的にある一定時間内に目的地までに到達できる確率により評価される場合が多い。ただし、時間信頼性に基づき道路交通サービスを評価する場合、評価対象区間に関する所要時間分布の情報が必要となるため、従来、実証的な分析評価が困難であった。ここでは ETC データを用いて、所要時間信頼性を評価するための方法論を提案する。

本研究では、旅行時間信頼性の点から交通

サービスの質を分析し、その結果を道路交通のマネジメントに活用することを企図しているため、「平均的な」利用者が享受すると考えられるサービスの質を評価することとした。したがって、個々の車両データを直接利用して旅行時間の変動をとらえるのではなく、集計時間単位 15 分ごとの旅行時間平均値を算出し、その分布形に関する情報に基づき評価を行った。また、休憩施設などに立ち寄る車両のデータを統計的に抽出し、所要時間信頼性評価の対象から削除するデータクレンジング方法についても構築した。

(2) リンクの構造・運用特性とサービス水準

道路ネットワークが提供できるサービス水準は、一般的に道路構造の優劣や、交通需要の大小によって変動するため、道路ネットワーク上での所要時間変動要因を明確化し、改善への提案を示すことが、サービス水準の高い道路交通システムの構築に資するといえる。本研究では、都市道路網を対象に交通サービス水準を速達性及び時間信頼性の観点から評価する。交差点数や車線幅員等の道路構造に関する要因、交通量および土地利用特性等の要因がサービス水準に与える影響の明確化を目的とする。具体的には、路線バスから取得されたプローブデータを用い、主要道路における所要時間分布を得てサービス水準を評価した。続いて、各道路区間の道路構造及び交通量・土地利用データを用い、サービス水準との関係を因子分析および共分散構造分析を用いて明確化を試みた。

(3) 画像データを用いたサービス水準診断

交通渋滞発生や交通事故発生メカニズムの解明およびその影響評価においては、発端となるミクロな車両挙動を捉えるとともに、交通流率など交通サービス指標がどのように変化するかについてマクロ的に把握する必要がある。本研究では、近年のビデオカメラの低廉化や画像処理技術の進展をふまえ、ビデオ画像を活用することでミクロな車両挙動とマクロな交通流動を同時に考察し、渋滞発生メカニズムを捉えることを試みる。都市高速道路の本線同士の合流部に設置し、取得したビデオ観測データから車両軌跡データを抽出し、交通流率、空間平均速度などの交通流指標の時空間的な推移を考察するとともに、画像データの特性を活かし、車群特性・車線変更位置に焦点をあてた分析を併せて実施した。

(4) 交通錯綜を考慮した車両挙動モデル構築

道路ネットワークのサービスレベルに強く影響を及ぼす箇所として、交通錯綜部 (例えば合流部・平面交差点) に着目する。交通の安全性・効率性の両面から見ても、錯綜部

の交通マネジメントは重要であり、ソフト・ハード両面からの改善策を定量的に評価するため車両挙動モデル構築、ならびに、これらを組み込んだシミュレーションモデルの構築が重要である。交通総局での車両挙動の分析・モデル化を進めるためには、時系列的に車両挙動を観測した軌跡データが必要となる。以上を踏まえ、本研究では上記(3)と同様に、ビデオ観測データを活用し、都市高速道路合流部の車両走行挙動、とりわけ、追従挙動に着目し、ビデオ画像から抽出した連続車両走行軌跡データを用いて、車両挙動をミクロな観点で分析した。特に刺激・応答型の追従挙動を表すモデル(追従モデル)を仮定し、相対速度・相対距離に対する感度パラメータならびに反応時間の推定を行い、その結果に基づきの運転者間の異質性および追従挙動に影響を及ぼす要因の把握の観点から分析を進めた。

4. 研究成果

(1) 時間信頼性指標によるサービス水準診断

図-1は名神高速道路のあるICペアを対象に、ETCデータを用いて求めた、所要時間の累積分布を示している。

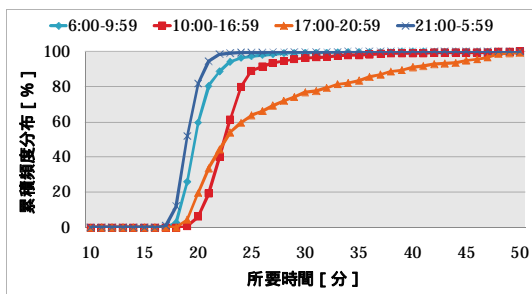


図-1 累積所要時間分布

上記の所要時間分布に着目すると、朝および深夜・早期時間帯の累積分布の傾きが急であり、安定した交通サービスが提供されていることが分かる。一方、夕方・夜時間帯(17:00~20:59)では、旅行時間の累積確率が50%までの分布形状は他の区間の同時間帯の形状と類似する一方で、50%を超えると分布の傾きが急激に緩やかになっており、旅行時間の信頼性が大きく低下する区間であると考えられる。以上のように所要時間変動には時間帯による差異が存在していることが確認された。また、ETCデータを活用した所要時間分布の作成方法を提案できたといえる。

この所要時間分布に基づき、3つの異なる区間のサービス水準を、平均所要時間(横軸)ならびに所要時間信頼性を代表する指標(縦軸)により評価を試みた(図-2)。横軸の指標は、距離の異なる複数の区間同士でサービス水準を比較可能とするため、平均所要時間

を区間距離で除して基準化したものである。縦軸は、95パーセンタイル所要時間と平均所要時間の差を、BT(Buffer Time)と称し、所要時間の安定性を評価する指標として、同じく区間距離により基準化したものである。一つのプロットは各区間の1ヶ月間のデータから算出した指標値を代表している。ここでは一例として、17時~21時のサービス水準評価の結果を示すが、区間毎、また、月ごとにサービス水準が大きく異なることが分かる。

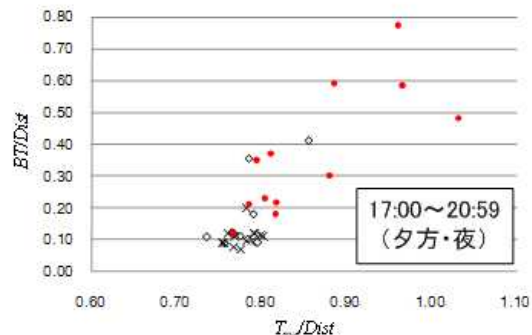


図-2 サービス水準評価の例

(2) リンクの構造・運用特性とサービス水準

本研究では、京都市域の路線バスから得られるプローブデータを用い、そこから得られる都市道路網所要時間データを用い、(平均的な)速達性および時間信頼性の観点から道路ネットワークのサービス水準を評価した。道路交通センサデータを活用し、道路構造に関する要因、交通量および土地利用特性等の要因がサービス水準に与える影響を統計的に分析した。道路構造・土地利用に関する各指標は、道路の一つの性質を表す指標に過ぎず、その背後には総合的な見地から道路の性質を決定づける要因が存在することが考えられる。そこで、本研究では、各指標間の相関や直接観測不可能な要因を考慮できる共分散構造モデルを用いて、各指標がサービス水準に与える影響を分析した。

表-1 サービス水準影響要因の因子分析

変数	因子1	因子2
指定最高速度	0.765	-0.071
車線数	0.733	0.244
中央帯設置延長の割合	0.711	0.008
右折レーン設置交差点の割合	0.403	-0.187
歩道設置延長の割合	0.065	0.494
単位距離あたりの信号交差点数	0.012	0.861
代表交差点青信号比	-0.021	0.375
DID地区割合	-0.146	0.272
商業地区割合	-0.156	0.775
車線幅	-0.208	0.042
単位距離あたりの信号のない交差点数	-0.469	0.117

サービス水準への潜在的な影響要因を特定するため因子分析を行った。その結果を表-1に示す。因子1はいずれも道路規格に関連

する指標であり、交通流の円滑化に関連する。これより因子1は道路の持つ役割の内、トラフィック機能を表していると解釈できる。因子2は、因子1と対照的に沿道の利用に際する快適性に関する指標が多く、道路のアクセス機能を表す指標であると解釈できる。

上記を踏まえ、共分散構造モデルを適用し、速達性、時間信頼性により評価される道路交通のサービス水準への影響要因を明確化した(図-3)。その結果、道路のアクセス機能が所要時間の速達性、信頼性に負の影響を与える一方で、トラフィック機能の向上が速達性の改善に繋がること、そして代表交差点青信号比の向上が速達性・信頼性共に改善させることが明らかとなった。このことから、都市道路網のサービス水準を向上させるためには、アクセス機能の重視されるべき区間には交通需要を呼び込まない、といった各道路区間の持つ機能や階層性を明確化したメリハリのある交通施策が必要であるといえる。

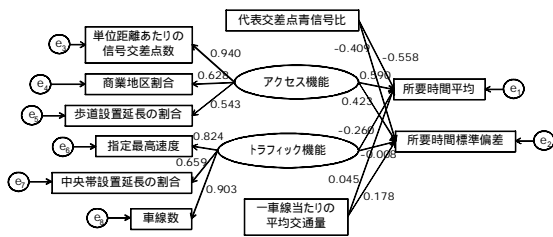


図-3 共分散構造分析の結果

(3)画像データを用いたサービス水準診断

事故・渋滞が頻発する阪神高速道路の守口線・環状線合流部に着目し、ビデオ画像から抽出した車両軌跡データを用いて、交通流率、空間平均速度などの交通流指標の時空間的な推移を考察した。あわせて、画像データの特徴を活かし、車群特性に焦点をあてた分析を併せて実施することで、研究対象地点における渋滞発生メカニズムの解明を試みた。

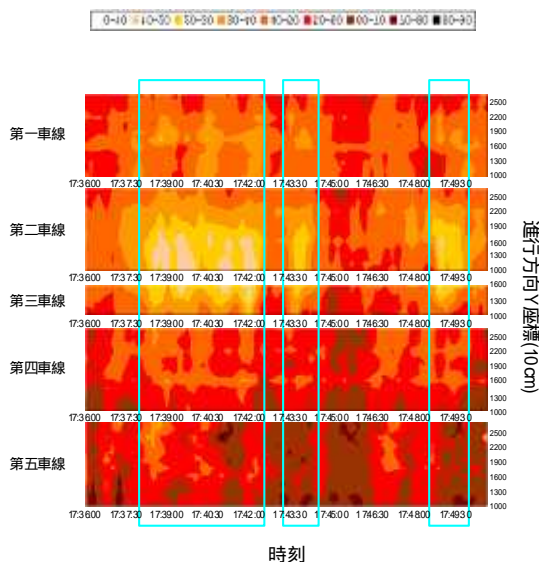


図-4 空間平均速度コンター図

図-4に分析の一例として、車線ごとの空間平均速度のコンター図を示す。この図より、第2車線(守口線追越車線)の速度低下は他車線と比較して回復するのに時間を要していることが確認できる。さらに、第2,4車線(環状線第二走行車線)の時空間平均速度コンター図においてy=2300付近の合流部下流において速度低下が発生している。これらは第2車線から第4車線への車線変更車が多数存在することに起因すると考えられ、この地点で車線変更が多発することが守環合流部の渋滞延伸の一因であることが伺える。

その他車群内の速度の平均値・分散の時空間的变化等についても分析した結果、渋滞発生の原因としては、守口線の内側車線から流入する車群と環状線の内側車線から合流する車群が同時に合流する際に、環状線の車群の方が優位となり守口線に速度低下が生じること、その結果さらに合流が困難となり、守口線に渋滞が残ってしまうことなどが明らかとなった。さらにその対策としては、環状線内側車線の利用抑制と守口線合流時の速度回復を促す施策が必要であることが示された。本テーマの実施を通して、画像データを用いた交通流動の時空間変化に対する分析手法を確立することができた。

(4)交通錯綜を考慮した車両挙動モデル構築

本研究では(3)で用いた阪神高速道路守口線・環状線合流部の車両走行軌跡データを用いて、Hellyモデルのパラメータ推定を行い、守環合流部における追従挙動を分析した。Hellyモデルは、先行車との相対速度と車頭距離を刺激として、追従車の加速度を線形モデルにより表した追従モデルである。特により現実的な追従挙動の表現のため、希望(車頭)距離(Desired distance)を導入し、希望距離と先行車との車頭(車尾)距離との関係で追従挙動が変化する構造とする。

$$\ddot{x}_{n+1}(t+T) = C_1[\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)] + C_2[x_n(t) - x_{n+1}(t) - D_n]$$

C_1, C_2 は推定パラメータ x_n は車両 n の位置、 D_n は希望距離である。なお n は先行車、 $n+1$ は追従車を表す。本研究では、各車両の軌跡データを一つのデータセットと見なし、車両個別に追従モデルのパラメータを推定した。

本研究ではHellyモデルのパラメータ C_1, C_2 の推定結果を踏まえて、運転者間の異質性ならびに道路・交通環境の追従挙動への影響に関する分析を試みた。推定結果の一例として、図-5には推定パラメータ C_1, C_2 , 反応時間 T の分布を示す。この図より、相対速度の影響を表す C_1 は0.2~0.4に集中しており、相対距離と希望距離との関係を表す C_2 は大部分が-0.05~0.05に分布していることがわかる。限定的なパラメータの組合せの下での推定ではあるが、パラメータ C_1 の方が C_2 より幅広く分布する傾向にあり、追従車両間で

相対速度に対する反応により大きな差違が認められる傾向にあると考えられる。C₂の符号が(-)となる追従車は相当数認められるが、その多くは先行車との相対距離にかかわらず、相対速度の変化に基づき追従する車両と考えられ、運転者間に追従挙動に異質性が存在する可能性があることが分かる。反応時間Tについては多くの追従車両で0.6~1.4秒に集中し、平均反応時間は約0.8秒となった。したがって守環合流部で観測された車両走行軌跡データを利用して推定した、Hellyの追従モデルのパラメータには、運転者間で異質性が存在する可能性を示唆している。

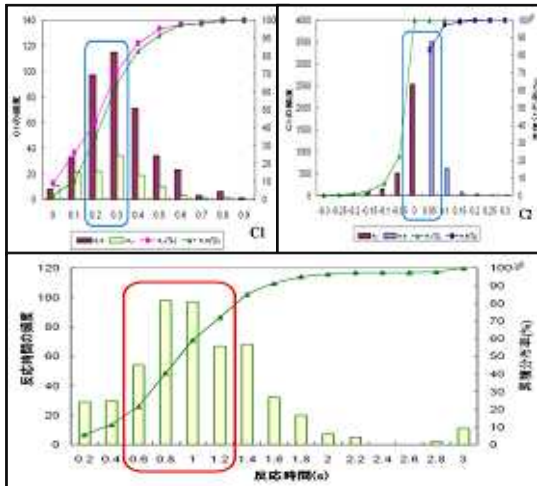


図-5 Hellyモデルの推定パラメータ

上記と同様に、交通状況、車線、道路構造が追従挙動に及ぼす影響についても、Hellyモデルの推定結果に基づき分析を行った。これらの結果より、運転者間の追従挙動には異質性が存在する可能性があり、実際の交通流を個々の車両に着目して分析・モデル化する場合に、現象を運転者間の異質性を考慮することが必要と考えられる。また、2つの車線が1つの車線に合流する区間では、相対速度の変化に敏感に反応する車両の存在も確認されている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 12 件)

- (1) Nobuhiro Uno, Fumitaka Kurauchi 他2名, "Using Bus Probe Data for Analysis of Travel Time Variability", Journal of Intelligent Transportation Systems, 査読有, Vol. 13, No.1, 2009, pp.2-15
- (2) 洪多禧, 宇野伸宏, 倉内文孝, "画像データを用いた車両追従挙動への影響要因に関する基礎的分析", 第28回交通工学研究発表会論文報告集, 査読有, 2008, pp.85-88
- (3) 山崎 浩気, 宇野 伸宏, 倉内 文孝, 嶋本 寛, 小笹 浩司, 成田 博: "ETCデータを用いた都市間高速道路の旅行時間信頼性評価に関する研究", 土木計画学研究・論文集, 査読有, Vol. 25, 2008, pp.935-945
- (4) 岡本太郎, 谷口栄一, 山田忠史, "マルチエージェントシミュレーションを用いた都市高速道路の交通管理における経営効率化に関する研究" 土木計画学研究・論文集, 査読有, Vol. 25, 2008, pp.499-507
- (5) 倉内文孝, 宇野伸宏, 飛ヶ谷明人, "都市高速道路合流部における渋滞発生メカニズムに関する画像データ解析", 土木計画学研究・論文集, 査読有, Vol. 24, 2007, pp.609-618
- (6) D.Hong, N.Uno, F.Kurauchi, 他1名, "Empirical Analysis of Drivers Car-Following Heterogeneity based on Video Image Data", Proceedings of the 12th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies, 査読有, 2007, pp.401-410
- (7) 伊庭洋一, 宇野伸宏, 倉内文孝, 他1名, "画像データを用いた合流部車線運用変更時の交通流解析", 第27回交通工学研究発表会論文報告集, 査読有, 2007, pp.49-52
- (8) 塩見康博, 吉井稔雄, 北村隆一: 車群台数と走行速度の観測に基づいた希望走行速度分布推定手法, 第26回交通工学研究発表会論文報告集, 査読有, 2007, pp.53-56
- (9) 宇野伸宏, 永廣悠介, 飯田恭敬, 他2名, "バスプローブデータを利用した所要時間信頼性評価手法の構築", 土木計画学研究・論文集, 査読有, Vol. 23, 2006, pp.1019-1028
- (10) 中村有克, 谷口栄一, 山田忠史, "マク口交通シミュレーションを用いた大型車交通施策の評価に関する研究" 土木計画学研究・論文集, 査読有, Vol. 23, 2006, pp.513-520
- (11) N.Uno, Y.Iida, 他2名, "An Approach to Evaluate Travel Time Reliability of Road Network Using Bus Probe Data", Proceedings of the 11th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies, 査読有, 2006, pp.271-280
- (12) 塩見康博, 吉井稔雄, 北村隆一, 吉川良一: 車群形成過程を再現するボトルネック容量推定シミュレーション, 第26回交通工学研究発表会論文報告集, 査読有, 2006, pp.45-48

〔学会発表〕(計 5 件)

- (1) 山崎 浩気, 宇野 伸宏, 倉内 文孝, 伊藤 秀昭:“ 旅行時間信頼性向上便益の算定方法に関する研究”, 第 38 回土木計画学研究発表会, No.27, 和歌山, 2008 年 11 月 2 日
- (2) 山崎 浩気, 宇野 伸宏, 倉内 文孝:“ ETC データを活用した都市間高速道路の利用頻度分析”, 第 63 回土木学会年次学術講演会講演概要集, -035, 仙台, 2008 年 9 月 11 日
- (3) 山崎 浩気, 宇野 伸宏, 倉内 文孝, 嶋本 寛, 小笹 浩司, 成田 博:“ ETC データを用いた都市間高速道路の旅行時間信頼性指標についての一考察”, 第 36 回土木計画学研究発表会, No.220, 八戸, 2007 年 11 月 24 日
- (4) 倉内 文孝, 宇野 伸宏, 嶋本 寛, 山崎 浩気:“ 交通ネットワークサービスの信頼性解析に関する研究動向”, 第 35 回土木計画学研究発表会, No.215, 福岡, 2007 年 6 月 10 日
- (5) 宇野 伸宏, 倉内 文孝, 嶋本 寛, 山崎 浩気, 小笹 浩司, 成田 博:“ ETC データを用いた都市間高速道路の旅行時間信頼性分析”, 第 35 回土木計画学研究発表会, No.218, 福岡, 2007 年 6 月 10 日

〔その他〕

ホームページ:

<http://trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp/its/theme.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宇野 伸宏 (UNO NOBUHIRO)
京都大学・経営管理研究部・准教授
研究者番号: 8 0 2 3 2 8 8 3

(2) 研究分担者

吉井 稔雄 (YOSHII TOSHIO)
京都大学・工学研究科・准教授
研究者番号: 9 0 2 6 2 1 2 0

山田 忠史 (YAMADA TADASHI)
京都大学・工学研究科・准教授
研究者番号: 8 0 2 6 8 3 1 7

倉内 文孝 (KURAUCHI FUMITAKA)
岐阜大学・工学部・准教授
研究者番号: 1 0 2 6 3 1 0 4