九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

道路網における交通量観測系の編成に関する研究

外井，哲志

https://doi.org/10.11501/3059396

出版情報：九州大学，1991，博士（工学），論文博士
バージョン：
権利関係：

第９章　総合的交通量観測系の編成

９．１　はじめに

第４章から第８章までの５章にわたり，交通量観測系の編成問題について詳しく述べてきた．各章はそれぞれが独立した観点からの観測系編成問題のモデル化，定式化とその解法に関するものであるが，現実の道路網に求められる交通量観測系を組み立てるためには，これまでに示してきた考え方を総合した規準による観測系編成の検討が必要である．このためには，観測点配置規準の総合化，統一モデルの作成が求められよう．

本章は，これまでに示した観測系の編成問題を振り返り，数学モデルおよび現実の観測形態との対応の面から，観測系編成の総合化を試みるものである．その結果として，福岡市およびその近郊の幹線道路網上における交通量観測点の配置案を示し，最後に観測点配置の現状との比較を行なっている．

９．２　交通量観測系の編成規準の総合化に関する検討

これまで検討してきた内容を振り返ると，第４章ではＯＤ網羅規準，第５章では非観測区間交通量推定の誤差制御規準，第６章ではＯＤ交通量，発生交通量推定の基礎的規準と誤差制御規準，第７章では交通特性分類に基づく規準，第８章では観測密度制御規準をそれぞれ検討し，観測系編成の方法を提案した．

ここで，各規準の相互関係を整理してみよう（図９－１参照）．提案した中で最も基本的なＯＤ網羅規準は，第６章のＯＤ交通量推定の基礎的規準に他ならず，また第６章の基礎的規準による解の組合せは誤差制御規準によるそれを包含する関係にある．したがって，第６章の誤差制御規準を用いて解を求めれば，その解は常に基礎的規準をみたすものとなる．また，ＯＤ交通量推定に関する規準に基づいて求められた解は，発生交通量推定に関する規準を満たすものであるが（図6-5と図6-9を比較せよ），発生交通量の推定精度の点からみると，必ずしも最良の解を与えるものではない．次に，非観測区間交通量推定に関する規準は，交通量の推定という点でＯＤ交通量，発生交通量の推定に関する規準と関係が深く，現実の観測データの利用には類似点も多いと考えられる

が，原理的には同一ではない．したがって，これら3つの規準に関しては，観測系の編成問題中で互いに独立した規準とせざるを得ないが，利用形態から考えて観測体制上は連続観測型に統一し，観測点配置の決定の流れの中でも同一の段階で決定することが望ましい．

その他の2つの規準は，上記の3つの規準とは性格的に異なっている．すなわち，交通特性分類規準によって選ばれる観測点は，観測体制上は連続型でなければ意味がなく，観測密度制御規準によって選ばれる観測点は定期観測型でも十分である．したがって，交通特性分類規準による観測点の抽出は，前3規準と同一段階で行ない，抽出された観測点は連続型観測点として配置するのがよい．一方の観測密度制御規準による観測点の抽出においては，多数の観測点の抽出が予想され，また，経路における観測点間隔が問題であるため，前3規準に比べて抽出リンクの自由度が高い．これらのことから，観測密度制御規準による観測点の抽出は，第1段階の解を与件として最終段階において行ない，抽出された観測点は定期型観測点とするのが妥当であると考えられる．

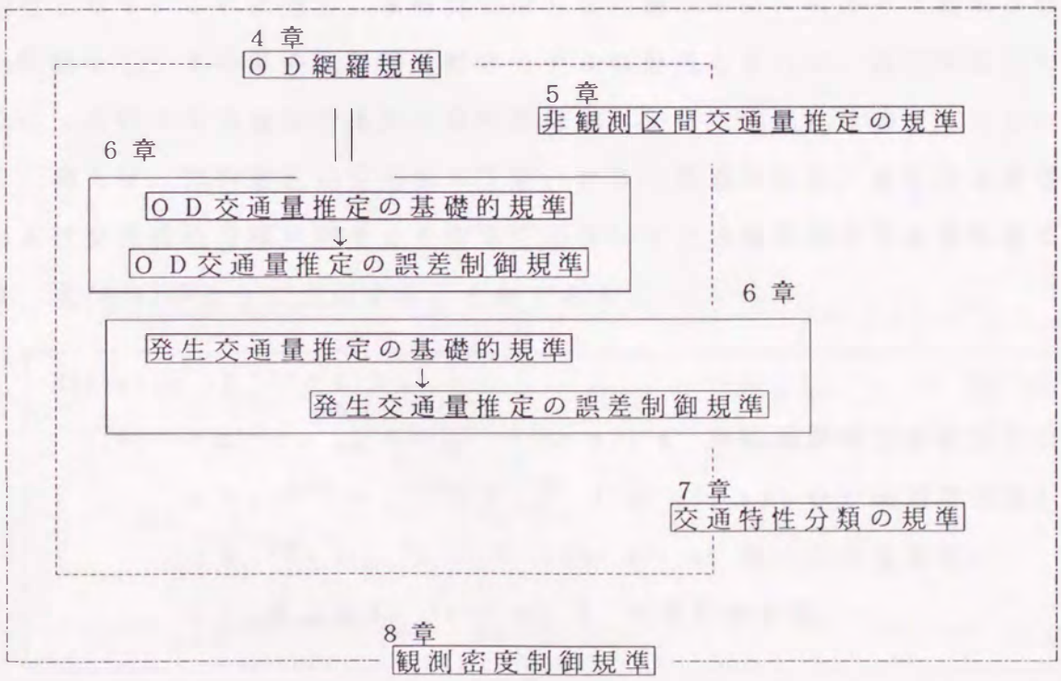


図9－1　交通量観測点配置規準の体系

以上を要約すると，第１段階として，非観測区間交通量推定の規準，ＯＤ交通量推定および発生交通量推定の誤差制御規準と，交通特性分類規準の４規準に関する観測点配置を行ない，選定された観測点では交通量を連続観測する．第２段階では，第１段階でえられた観測点配置を与件とし，観測密度制御規準による観測点配置を行ない，選定された観測点では定期的に観測すればよい．

次に，本問題の数学モデル形について考察する．本研究における各種の観測系編成問題の数学モデルは，第４章にその原型を示したが，このモデルは，保証すべき事項（捕捉ＯＤペア数）に関する制約条件下で，目的関数（観測点数）を最小化する最適化モデルである．また，第５章から第８章までに採用した最適化モデルについても，すべてそれぞれの保証事項に基づく制約条件の下に，観測点数を最小化する形式であった．

最適化の方法には，上記以外にも観測点数の上限を制約条件として，観測上の効果（例えば推定精度）等を目的関数として設定し，その最大化を図る方法も考えられる．しかし，この方法では，複数の異なる観点からの最適化問題を総合する場合に，目的関数の総合化において合理的な重み付けを行なうことが困難となる．これに対し，本研究で示した各種のモデルのように観測点数を目的関数とし，その最小化を図る数学モデルの形式とすれば，異種問題間の総合化は，対応する異種制約条件の並列的付加によって容易に達成することができる．例えば，非観測区間交通量の推定，ＯＤ交通量の推定，発生交通量の推定および交通特性分類に関する４規準を総合した交通量観測点の最適配置モデルは，式(9-1)のように表現することができる．

$$\text{Minimize} \quad Z^{(1)} = \sum_{m \in L} \xi_m \tag{9-1}$$

$$\text{s.t.} \quad t_m^{*2} + \sigma_{tm}^2 \leqq \tau_m^2 \quad (\text{for all } m \quad \text{非観測区間交通量推定})$$

$$\Delta x_{ij}^{*2} + \sigma_{xij}^2 \leqq \theta_{ij}^2 \quad (\text{for all } ij \quad \text{ＯＤ交通量推定})$$

$$\Delta y_i^{*2} + \sigma_{yi}^2 \leqq \rho_i^2 \quad (\text{for all } i \quad \text{発生交通量推定})$$

$$\sum_{m \in L} \xi_m \phi_{mk} \geqq 1 \quad (\text{for all } k \quad \text{交通特性分類})$$

さらに式(9-1)の解$\xi^{(1)}$をベースとして，観測密度制御規準による最適化問題を作れば，次のようになる．

$$\text{Minimize} \quad Z^{(2)} = Z^{(1)} + \sum_{m \in \{L-L^{(1)}\}} \xi_m \qquad (9\text{-}2)$$

$$\text{s.t.} \quad \Big(\sum_{m \in \{L-L^{(1)}\}} \xi_m s_m^k + \sum_{m \in L^{(1)}} \xi_m s_m^k\Big) / DR^k \geqq \zeta^k \quad (\text{for all } k \text{ 経路観測密度})$$

ここに，L：対象リンクの集合，

$L^{(1)}$：解 $\xi^{(1)}$ の観測リンクの集合

9．3　総合的交通量観測系の編成問題

総合的配置問題を解くため，まず第1段階として式(9-1)の最適化を考える．式(9-1)をそのまま解くことも可能ではあるが，計算に多大の時間を要するので，既に求められた目的別の最適解を利用する方法について考えよう．式(9-1)の制約条件のうち，OD交通量推定のための規準のみによる最適解の構成リンク数は20であり，他の規準の解よりもリンク数が多い．そこで，この解に含まれるリンクを基本要素とするとともに，他の3規準に関しては，式(9-1)の各条件に代えて第7章までに求められた各々の最適解構成リンクが含まれることを制約条件にした．また，先に述べたように，OD網羅規準は，OD交通量推定の誤差制御規準の必要条件であり，2つの規準に基づく最適解の間ではリンク数は等しいことを考慮すれば，前者の規準を後者の規準に代えて求められた解のうち，OD交通量の推定誤差の制約条件を満足する解は，誤差制御規準による最適解であることは明らかである．したがって，OD網羅規準による最適解の抽出を行ない，それに対して，推定誤差の制約条件が満たされているかを検証することにする．このような処置により，計算は容易になる上に，計算終

表9－1　各規準による最適解構成リンク番号

規準	解
非観測区間交通量推定	(41,6), (41,24), (41,83), (41,130), (41,135), (53,3), (53,6), (53,14), (53,24), (53,30), (53,34), (53,66), (53,83), (53,81), (53,130), (53,135), (53,137), (83,131), (83,132), (83,133)
発生交通量推定	3, 4, 8, 41, 44, 45, 46, 101, 128, 134, 137
交通特性分類	(24,15,42,118), (24,29,42,118), (24,69,42,118) (114,15,42,118), (114,29,42,118), (114,69,42,118)

注）（　）内に示す数字は，一組の解を構成するリンクの番号である．

了後，ＯＤ網羅規準の代用の点で解の最適性が失われることはない．

非観測区間交通量推定，発生交通量推定および交通特性分類の３つの規準によって求められた解の構成リンクを整理して示したのが表９－１である．総合的観測系では，３つの規準各々から最低１組づつの最適解の組合せを選ぶ必要がある．

図9-2　第１段階の解を構成するリンク位置分布

図9-4　発生交通量推定規準による最適解の包含状況

図9-3　非観測交通量推定規準による最適解の包含状況

図9-5　交通特性分類規準による最適解の包含状況

9．3．1　第1段階の求解

以上の方法で求められた第一段階の総合的最適解は，表9－2に示される27リンク構成の56組の解であり，これらは22本の共通リンクをもつ．**図9－2**には，解を構成するリンクの位置の分布を示しており，小さな●印を付したリンクが共通リンク，大きな●印を付したリンクがその他である．共通でないリンクは，破線で囲まれたグループ内からいずれか1リンクづつ抽出される．**図9－3**，**図9－4**，**図9－5**は，本法で得られた最適解が3つの規準による最適解をどのように包含しているかを示すものである．図9－3は，非観測区間交通量推定の規準による最適解の包含状況を示すものであり，リンクの組合せを両矢印（↔）で表わした．図より，表9－1の20組の解のうち(41,6)，(41,83)，(41,24)，(53,6)，(53,14)，(53,24)，(53,30)，(53,83)の8組の解を含んでいることが確認できる．また，図9－4によれば，発生交通量推定規準による最適解のうち，(4),(8),(41),(44),(45),(46),(101),(134)の8組の解を含んでいること，図9－5では，交通特性分類規準による解のうち，{24(G1),29(G4),42(G3),118(G7)}の解が含まれていることが確認できる．

第1段階の総合的最適解は，観測密度に関する規準を用いていない．そこで，総合的最適解を求める第2段階では，第1段階で求められた解を基礎として，観測密度に関する規準を制約条件とした計算を行なう．この際，第1段階の求解で，非観測交通量，発生交通量，交通特性に関する3規準による解の構成要素が含まれることを制約条件としたように，第2段階の求解においても第1段階の解の構成要素が解に含まれることを制約条件とする．

ところで，第1段階の解は，**表9－2**に示されるように56組存在するが，全ての解を第2段階の出発点とするわけにはいかない．そこで，56組の解のうちで最も優れた解を選択し，これを出発点とすることとした．

解の評価には，分布交通量の平均推定誤差率が低いことと，非観測交通量推定，発生交通量推定の精度が高い解を含むことの2点を考慮した．分布交通量の平均推定誤差率は，分布交通量をx_{ij}とするとき，式(6-10)の分布交通量推定誤差の評価値X_{ij}^2を用いて，次式で定義される．

$$\Theta = \sum_{ij \in G} X_{ij} \Big/ \sum_{ij \in G} x_{ij} \qquad (9\text{-}3)$$

$$X_{ij}^2 = \Delta x_{ij}^{*2} + \sigma_{xij}^2 \qquad (6\text{-}10)$$

この値を解の出現順に示したものが図9－6である．出現順に誤差率が増大する傾向があり，しかも周期性をもつことがわかる．第1解の平均誤差率が最も低いが，誤差率に極端な相違は見られないので，ほぼ第10位までは誤差率に関して同レベ

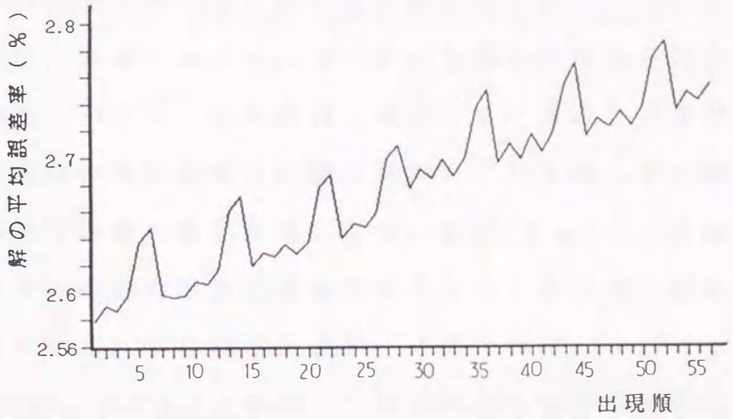


図9-6　解の出現順と平均誤差率の関係

表9－2　第1段階の総合的最適解(最適解構成リンク)

共通リンクの番号		4 6 8 24 26 29 30 36 37 41 42 46 53 64 68 84 85 92 103 118 128 134		
	解番号		解番号	
共通でないリンクの番号	1	13 44 63 75 83	2	13 44 74 75 83
	3	13 63 75 83 101	4	13 74 75 83 101
	5	13 45 63 75 83	6	13 45 74 75 83
	7	13 48 63 75 83	8	13 48 74 75 83
	9	14 44 63 75 83	10	14 44 74 75 83
	11	14 45 63 75 83	12	14 45 74 75 83
	13	14 48 63 75 83	14	14 48 74 75 83
	15	13 44 63 75 107	16	13 44 74 75 107
	17	13 63 75 101 107	18	13 74 75 101 107
	19	13 45 63 75 107	20	13 45 74 75 107
	21	13 48 63 75 107	22	13 48 74 75 107
	23	14 44 63 75 107	24	14 44 74 75 107
	25	14 45 63 75 107	26	14 45 74 75 107
	27	14 48 63 75 107	28	14 48 74 75 107
	29	13 44 63 76 83	30	13 44 74 76 83
	31	13 63 76 83 101	32	13 74 76 83 101
	33	13 45 63 76 83	34	13 45 74 76 83
	35	13 48 63 76 83	36	13 48 74 76 83
	37	14 44 63 76 83	38	14 44 74 76 83
	39	14 63 76 83 101	40	14 74 76 83 101
	41	14 45 63 76 83	42	14 45 74 76 83
	43	14 48 63 76 83	44	14 48 74 76 83
	45	13 44 63 76 107	46	13 44 74 76 107
	47	13 63 76 101 107	48	13 74 76 101 107
	49	13 45 63 76 107	50	13 45 74 76 107
	51	13 48 63 76 107	52	13 48 74 76 107
	53	14 44 63 76 107	54	14 44 74 76 107
	55	14 63 76 101 107	56	14 74 76 101 107

ルにあるものと解釈し，そのうち誤差率2.6%未満の7組の解(No.1,2,3,4,7,8,9)の中から，他の2規準において誤差率の低い解を含む組合せを選ぶこととした．発生交通量推定に関しては，表6－2より，リンク41を用いた場合の推定精度が高いことが示されている．一方で，リンク41は表9－2の共通リンク群に含まれているため，発生交通量の推定精度は56組の解のいずれを用いても相違がないことがわかる．非観測交通量の推定に関しては，σ_m / t_m（リンクmにおける交通量に対するリンクmの固有誤差標準偏差の大きさ）の小さな解の推定精度が高いことがわかっている．すなわち，表5－4によれば，σ_m / t_mの最も小さな組合せは，{53,14}，{53,81}であり，これらの組合せが含まれる解は上記の7組の中でNo.9の解のみである．以上の推論により，本研究ではNo.9の解を第2段階の求解の基礎となる解として用いることとした．

9．3．2　第2段階の求解

第1段階におけるNO.9の解を基礎として，すなわち，NO.9の解を$\xi^{(1)}$，ζ^k＝0.2箇所／kmとして式(9-2)を解くと，構成リンク数45，10191組の解が得られた．これらの組合せ各々について，リンク上の観測位置を決定するには多大の労力を要するので，各観測点の組合せによる総観測交通量を計算し，その値の大きな解の中から，できるだけ等間隔で観測できる解を選択するという方法を採ることとした．

総観測交通量の大きな解を**表9－3**に示す．これらの解は，第1段階で求められた27リンクを基礎として，その他に24組の解全体に共通な11リンク，各解に固有の7リンクの計45リンクで構成されている．固有のリンクをみると，{31,61,105,131}の4リンクを中心とするグループと，{32,34,52,96}を中心とするグループとに分類することができる．

§8.3.2，§8.3.3に解説した方法により，表9－3の24組の解各々についてリンク上の観測位置を決定し，その結果における観測点間パス数，観測点間パスの平均長，同じく分散を示したのが**表9－4**である．観測点間パス数は200～236，平均パス長は5.023～5.462，パス長の分散は7.258～9.172の範囲である．第8章の分析から，平均観測点間隔が短く，観測点間隔のばらつきの小さい配置において走行台キロの推計精度は高まることが示されている．したがっ

表９－３　観測交通量が最大の解

第１段階の解の構成リンク（27リンク）	
4, 6, 8, 14, 24, 26, 29, 30, 36, 37, 41, 42, 44, 46 53, 63, 64, 68, 75, 83, 84, 85, 92, 103, 118, 128, 134	
第２段階における共通リンク（11リンク）	
2, 9, 35, 45, 50, 67, 69, 81, 88, 101, 132	
解番号	各解固有のリンク（７リンク）
171	31, 39, 61, 70, 105, 111, 131
175	31, 39, 61, 71, 105, 111, 131
203	31, 40, 61, 70, 105, 111, 131
207	31, 40, 61, 71, 105, 111, 131
288	32, 34, 39, 52, 61, 96, 111
292	32, 34, 39, 52, 62, 96, 111
320	32, 34, 40, 52, 61, 96, 111
324	32, 34, 40, 52, 62, 96, 111
1451	31, 39, 61, 70, 105, 121, 131
1455	31, 39, 61, 71, 105, 121, 131
1483	31, 40, 61, 70, 105, 121, 131
1487	31, 40, 61, 71, 105, 121, 131
1568	32, 34, 39, 52, 61, 96, 121
1572	32, 34, 39, 52, 62, 96, 121
1600	32, 34, 40, 52, 61, 96, 121
1604	32, 34, 40, 52, 62, 96, 121
2091	31, 39, 61, 70, 105, 122, 131
2095	31, 39, 61, 71, 105, 122, 131
2123	31, 40, 61, 70, 105, 122, 131
2127	31, 40, 61, 71, 105, 122, 131
2208	32, 34, 39, 52, 61, 96, 122
2212	32, 34, 39, 52, 62, 96, 122
2240	32, 34, 40, 52, 61, 96, 122
2244	32, 34, 40, 52, 62, 96, 122

て，解175と解203とを比較した場合には，平均パス長，分散ともに解175が小さく，高い評価を得ることになり問題ない．ところが，平均パス長と分散とを同時に用いた解の評価法については未検討であり，解171と解175との対比の場合のように，一方が平均パス長が小さく，他方が分散が小さい場合にいずれを選択すべきか迷う．そこで，表９－３に示された解はすでに観測密度規準を満足しており，表９－４に示された諸量に決定的な差はみられないので，平均パス長と分散の両方が比較的上位にある解を選択すれば，十分な精度をもつ解をえることができると考えられる．その上で平均パス長，分散の順位をみると，解288，解292，解320の平均パス長，分散がそれぞれ（３位，３位），（２位，６位），（６位，１位）と比較的上位にあり，これらの解が走行台キロを推定

表９－４　リンク上の観測点位置決定に基づくパス特性

解番号	観測点間パス数	平均パス長	パス長の分散
171	200	① 5.023	8.224
175	208	④ 5.092	8.016
203	208	5.176	8.075
207	207	5.181	8.110
288	219	③ 5.043	③ 7.319
292	217	② 5.024	⑥ 7.366
320	224	⑥ 5.167	① 7.258
324	223	⑦ 5.168	④ 7.349
1451	214	5.329	8.970
1455	212	5.317	9.172
1483	217	5.430	8.757
1487	215	5.413	9.009
1568	222	⑤ 5.154	7.625
1571	224	5.193	7.800
1600	228	5.308	7.598
1604	226	5.300	7.701
2091	218	5.336	8.651
2095	223	5.369	8.584
2123	217	5.371	8.519
2127	228	5.462	8.393
2208	228	5.192	⑦ 7.376
2212	227	5.193	7.465
2240	236	5.340	② 7.276
2244	235	5.342	⑤ 7.362

注）○印の数字は数値の小さい順位

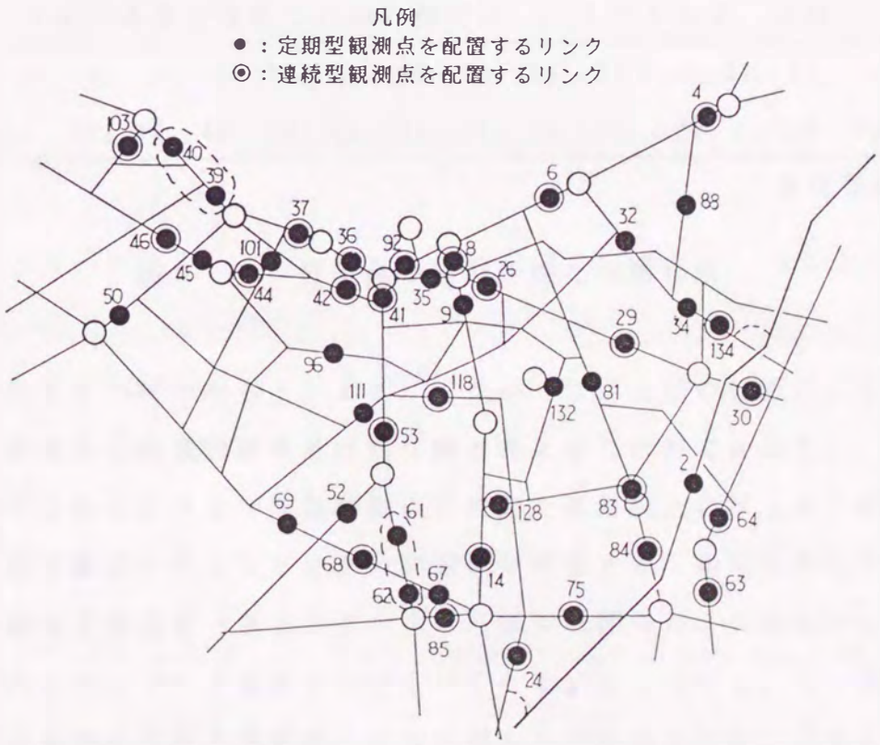


図9-7　道路網上の総合的観測点配置の解

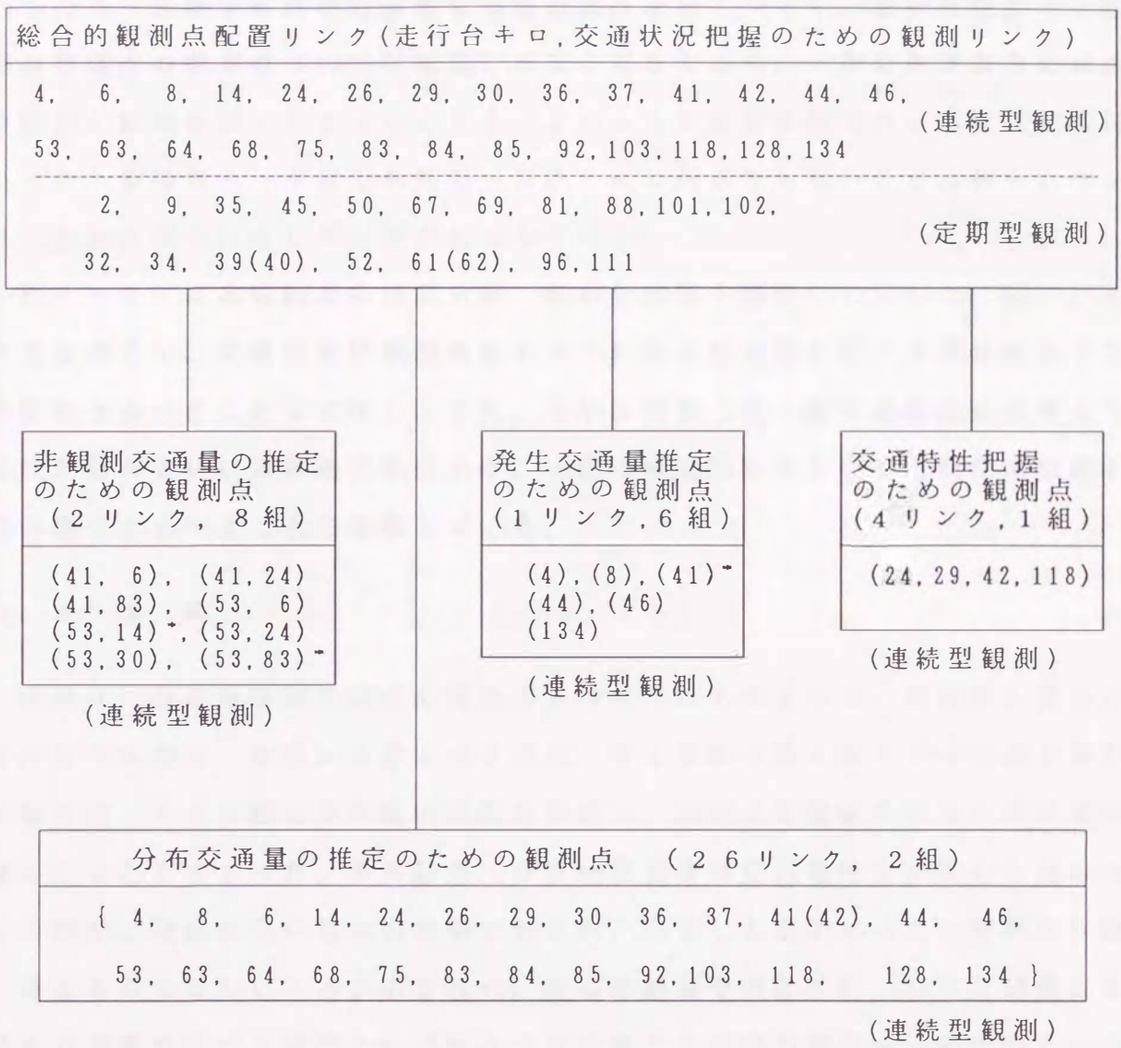


図9－8 観測点の役割分担と観測形態

する上で望ましい解であるといえる．したがって，上記の判断により，これらを総合的観測系の編成問題の最終的な解と考えることができよう．

これら3つ解における交通量観測点配置案を道路網上に示したのが**図9－7**であり，図中●印を付したリンクに観測点を配置する．◉印を付したリンクは連続型の観測を実施すべきリンクを示し，破線で囲った2つのグループはその中のいずれかのリンクで観測すればよいことを表わしている．この道路網における実際の観測点の分布状況は，すでに図3－10に示したが，これと図9－7の総合的観測点配置を比較すると，現実の観測点分布状況は，観測点数は大き

いものの，連続型観測の交通量常時観測点は極めて少なく，定期型観測の一般交通量調査の観測点（12時間観測）がほとんどであり，一般交通量調査に重点をおいた観測体制であるといえよう．このような観測体制では，本研究で検討してきた多様なデータ利用の需要（目的）には対応できないことは明らかであり，観測体制の見直しが必要であると考える．

図９－８には各観測点の役割分担，観測形態等を整理して示した．図中，連続型観測とは，交通量常時観測調査のように車両感知器を用いて常時観測する形態をとるべきことを意味し，また，定期型観測とは一般交通量調査等のように観測員あるいは車両感知器により，一定の時間間隔をおいて定期的に観測する形態をとるべきことを意味している．

９．４　要　約

本章は，交通量観測系編成の総合化を行なったものである．観測系の総合化を行なうに当り，最初に考慮すべき点は，第４章から第８章までの各章で個別に取り扱ってきた観測系の編成問題を整理し，観測点配置規準相互の関係を明確にすることであった．その結果，ＯＤ網羅規準は交通量推定に関わる他の３つの規準と関係が深い基本的規準であるが，必ずしも他のすべての規準を代替し得るものではないことが示された．次に非観測交通量推定，ＯＤ交通量推定，発生交通量推定の３規準と交通特性分類規準とを連続型観測点の抽出のための規準として１つの観測点配置モデル（第１段階）に組込み，観測密度規準による観測点配置モデル（第２段階）と区別した．以上の考察を経て，総合的な交通量観測系の編成問題の解を求めた．

求解の第１段階では，第５章，６章，７章で既に求められた解を利用し，表９－２に示す27リンク構成の56組の解を求め，それらの中から分布交通量の平均推定誤差率を用いた評価法によりNO.9の解を選定し，これを第２段階の解の基礎とした．第２段階では，観測密度を0.2箇所／ｋｍ以上として解を求めた．その結果，構成リンク数45，10191組の解が得られた．これらの中から，捕捉交通量が最大である解を24組抽出し，さらに，リンク上の観測位置を決定する過程で，観測点間パスの平均長と分散の小さな解３組を選別した．これらの解は，第１段階の観測点配置モデルで非観測交通量推定，分布交通量推定，発生

交通量推定，交通特性分類に関する各規準を満足し，さらに，第２段階で観測密度および観測密度制御規準を満たしており，本研究の冒頭で提唱した３つの大きな立場からの要求を満足していると考えることができる．また，本研究で考慮した全ての観測系編成問題が最小化問題として定式化されていることから，式(9-1)に従って求められる解は，要求される条件を満たす最小観測点数の解となるはずである．本章では，式(9-1)をそのまま用いず，既出の解を利用する方法をとっているため，理論上は最小数の観測点配置である保証はないが，この点を補うべく様々な検討を十分に行なっており，最小観測点数に近い観測点配置の解が得られたものと考える．また，本法による段階的な系の編成では，個々の観測点の役割を明確にしながら，観測系を総合化できる点に長所がある．

第10章　結　論

10．1　研究成果の要約

本論文は，道路交通の分野において，今後ますます重要性が増大するであろう交通管理の立場から，観測点の配置問題に主眼を置いた交通量観測の方法論，とりわけ観測系の編成論について展開したものである．未だに不十分な点は多いが，これまで皆無に近い状況にあった交通量観測の方法論に関し，従来の方法論の限界を示すとともに，ネットワーク理論や整数計画理論等の導入によって，独自の体系化を図ることができた．すなわち，本論文においては，従来，現場技術者の判断により試行錯誤的に行われてきた観測点の位置決定の問題を観測系の編成としてより広範に捉え直し，合理的な問題解決方法を示すことができたといえる．

さて，論文の全体的な流れを振り返れば，(1)交通量観測の目的の明確化，(2)非観測区間交通量の推定法の現状に関する認識を経て，(3)交通量観測系の編成問題に関する数学的モデルの導入，(4)設定された各種の目的別の観測系編成問題の定式化とその解法，(5)目的の総合化を目指した総合的な交通量観測系の編成の試みとなっている．この順に本論文の内容を要約すれば，以下のとおりである．

（1）交通量観測目的の明確化（第2章）

わが国の交通量観測体制について整理し，交通量調査結果の利用に関するアンケート調査結果からその問題点を明らかにし，加えて，諸外国における交通量観測体制を参考としながら，交通量観測のあるべき姿について考察した．その結果として，以下の章で研究対象とすべき交通量観測の3つの主要な目的，

① 非観測交通量（非観測区間，交通需要）の推定，

② 交通量変動特性の分析

③ 道路交通の活動総量の把握

を抽出することができた．また，上記①におけるデータ間の関連性から「空間的広がり」と「時間的連続性」の2つの軸で構成される平面上で交通量観測体制を観念的に捉え，各種交通量調査の分担関係を基調とした観測網の概念を整

理し明示した．

（２）非観測区間交通量の推定法の現状に関する認識（第３章）

既存の交通量データを用いた時系列交通量推定モデルの構造について検討し，各モデルによる走行台キロ，交通量の推計精度を比較した．その結果，走行台キロの推定には，常時観測交通量を用いて交通量の伸び率を考慮するタイプのモデルが適するのに対し，交通量の推定には，常時観測交通量を用いない自己回帰型のモデルが適することが明らかになった．ただし，交通量の推定においても常時観測点の比率が高まるにしたがって，推定精度が向上する傾向がみられることから，上記の結果は常時観測点の少なさに起因するものであると結論した．

次に，時系列交通量推定モデルは，データ上の制約や理論上の不備があるため，これに代る非観測区間の交通量推定法として，リンクのＯＤ内訳を用いる方法を提案し，実際の推定結果を示した．その傾向は，計算に用いる交通量配分結果と観測交通量との中間にあり，本法が交通量配分によるリンク交通量の現実からの乖離を観測交通量を用いて修正する効果を持つことを明らかにした．

以上の分析を通して，交通量観測点の数や位置などの観測体制上の問題が，非観測区間の交通量推定精度に大きく影響していることを示すとともに，以下の章における効果的な観測体制の構築方法に関する理論展開への導入とした．

（３）交通量観測系の編成問題に関する数理モデルの導入（第４章）

道路網上の交通量観測系編成の基本となる観測点配置の問題を数学モデルとして捉えるための準備として，ネットワーク理論を用いて道路網上の交通流を表現した．次に，いくつかの観測点配置の考え方の中で，「ＯＤ網羅規準」が道路網上の交通流に関する情報を体系的に得る上で最も適切な規準であると考え，問題の定式化を行なった．この考え方は，観測点を通過する交通のＯＤペアが網羅されるように観測点を配置するものであり，線形の最適化問題としてモデル化できる．また，この数学モデルについて，バラスの加法アルゴリズムと分枝限定法を併用して解く方法を工夫した．そして，この方法論は，以下の各論に引継がれている．

（４）各種の目的別観測系編成問題の定式化とその解法（第５章～第８章）

観測系編成問題の各論であり，本論文の中心をなす．

第1に，交通量推定の誤差制約の下で非観測区間の交通量を推定するためには，交通量観測系の編成はいかにあるべきかを論じた．

まず，観測交通量とリンクのOD内訳とを用いて，非観測道路区間の交通量を推定するモデルによる推定誤差を求める近似式を導びき，この近似式に基づいて，推定誤差の期待値と分散に関する定式化を行った．これらの結果から，推定誤差の分散は，リンクの固有誤差分散と伝播誤差分散とに分けられることを明らかにするとともに，各リンクの推定誤差の評価関数を定義し，最適観測系編成の考え方を示した．

次いで，福岡市とその近郊の実在の道路網を用いて，OD交通量に誤差が含まれる場合と，OD交通量の道路網の経路配分に誤差がある場合の2ケースについて観測点の配置問題を解析した．前者に関する分析では，ODペアの多いリンクは一般的に代表性（個々の区間の観測交通量で推計しうる道路区間の範囲）も高い傾向にあること，観測点を組合せることによって推定誤差を減少させることができること等を明らかにした．後者に関する分析では，交通量推定時の伝播誤差を一定値以下に収めるという制約条件の下に，最適な観測リンクの組合せを求めた．また，観測リンクとして選定されるリンクの特性を分析し，基本的には交通量，ODペア数が大きく，リンクmの交通量に対する固有誤差標準偏差の比（σ_m/t_m）が小さいリンクが選定されることが明らかとなった．

最後に，最適解として選ばれた観測点の観測データを用いて，他のリンクの交通量を推定し，その結果を検証した．

以上の分析により，道路網上の各リンクの代表性を示す方法，および個々の観測区間の代表性に基づいて，道路網における最適な交通量観測点の配置案を設定する方法の基本的考え方と実現可能性を示した．

第2に，交通量の観測値から，分布交通量および発生交通量を推定するための方法と，それを支援する交通量観測系の編成問題について論じた．

まず，リンクの観測交通量を用いた分布交通量の推定式を導き，その式形から分布交通量の推定可能条件を示し，この条件が第4章に提案した「OD網羅規準」であることを明らかにした．そして，分布交通量の推定誤差の分散の近似式を導き，これを用いて，推定誤差を制約条件とする最適化問題を定式化した．また，発生交通量に着目し，分布交通量に関して行なった解析と類似の理

論展開を試みた．これにより，発生交通量の推定の必要条件「ゾーン網羅規準」を示すとともに，発生交通量の推定誤差およびその分散の推定式の定式化を行ない，推定誤差を制約とする観測点配置問題を定式化した．

次いで，福岡市およびその近郊の実在道路網を用いて，分布交通量推定のための最適化問題を解き，求められた解による推定精度の検討を行なった結果，平均値としては極めて高い精度の推定値が得られること，推定精度の標準偏差の推定近似式が十分高い精度を持つことが示された．また，複数組の解のうちどれを選定するかが，分布交通量の推定精度に及ぼす影響を分析し，推定精度は解の選定によってあまり大きく異ならないものの，交通量の多いリンクを含む解ほど，分布交通量の推定精度を向上させる傾向があることなどが明らかとなった．つづいて，類似の解析を発生交通量について行ない，分布交通量を対象にした解析の場合と同様の結果を得た．

最後に，分布交通量，発生交通量のそれぞれの直接推定のための観測点配置法について検討し，前者が推定精度面，後者が経済性でそれぞれ優れていることを明らかにした．

第３に，交通特性による道路分類に基づいた観測系の編成を行なった．

交通量常時観測データの分析では，交通量関連指標のうち，交通特性を最も適確に表現しうる指標は交通量の変動指標であり，特に，日曜日係数に道路利用の特徴が明瞭に現れていること，日交通量，車種構成，昼夜率なども利用形態の上からの道路分類に適することなどが明らかとなった．また，一般交通量調査データ（１日値）を用いた分析では，昼間交通量，大型車混入率，ピーク率，小型貨物車率，乗用車率が道路分類に有効な指標であることを明らかにし，超重交通道路から都市間軽交通道路まで９群に分類する手法を開発した．この分類を用いて福岡県の道路網，福岡市の道路網における代表道路区間をそれぞれ抽出し，交通特性分類規準に基づく観測点とした．

第４に，トリップ長，走行台キロの把握精度が高い交通量観測系の編成方法を考察した．

まず，一次元上の観測点配置性状とトリップ長推定精度等との関係を理論的に解析し，トリップ長を一定とした場合に，①トリップの観測される箇所数の期待値は，観測点間隔の分布形によらず，トリップ長と平均観測点間隔との比

率で求められること，②トリップ長の推定誤差の２乗平均値は，平均観測点間隔の２乗に比例すること，③観測密度を同一とした場合，等観測点間隔は確率法則に従う観測点間隔よりもトリップ長の推定誤差を小さくできることという，３つの重要な性質を示すことができた．また，トリップ長の推定誤差と走行台キロ推定誤差との関係を確率論に基づいて解析し，後者は前者の$1/\sqrt{q}$（qは交通量）倍であることを示した．ついで，福岡市とその近郊の道路網を走行する交通の走行距離分布から，推定誤差の２乗平均値と観測点間隔tとの関係をシミュレーションによって求め，走行台キロの推定誤差率を1.0%以下に抑えるためには観測点間隔を約5.0km以下にする必要があることを示した．さらに，道路網上の主なＯＤ間の経路上で，観測密度0.2箇所/km以上（観測点間隔5.0km以下）という制約条件の下に，観測点数を最小化する最適化問題を定式化し，観測リンク上での観測位置の決定法を示した．

以上の結果に基づき，福岡市の幹線道路網（139リンク）を対象とした計算で，最適解を求め，それに基づく観測点配置における混雑区間の抽出の状況が概ね良好であるという結果を得た．

（５）総合的な交通量観測系の編成（第９章）

（４）で示した様々な目的による観測系の編成法の総合化について論じた．

目的により観測点の配置規準は異なるが，数学モデルの形式が共通しているため，各章の配置規準を並列的に並べた制約条件下で観測点数の最小化を図るという形式をもつ数学モデルの作成が可能となった．第１段階から全ての規準を制約条件化とすることは，計算効率の上で好ましくないので，第１段階で非観測区間交通量推定，ＯＤ交通量推定，発生交通量推定，交通特性分類の４つの目的による規準を統合した最適問題を解き，第２段階では第１段階の解を与件として，観測密度制御規準による最適配置を行なう方法を試みた．福岡市の道路網（139リンク）に適用した結果では，第１段階で27リンクの解56組が得られ，そのうち，上記の４目的の達成度からみて最も適切な解を与件として，第２段階の最適問題を解いた．第２段階の計算により，総観測点数45リンクの解10191組の解が得られたが，その中から捕捉交通量が最大の解24組に限定し，さらに観測点間隔の平均と分散の小さな３組を抽出し，これらを総合的観測系編成問題の解とした．

10.2　今後の課題と問題点

交通量観測系の編成という特殊な課題に取り組み，それなりの成果を得たと考えるが，課題の特殊性の故に参考とすべき関連研究も少なく，検討不足の点も少なくないと思われる．以下に，本研究全般に関して著者が意識している問題点について整理してみる．

第１点は，観測系の編成という行為そのものに内在するある種の矛盾に関する問題である．そもそも観測系を編成する場合には，どのような分野を取り扱うにしろ，対象物あるいは現象の分布構造がある程度明らかにされている必要があるが，その一方で，その分布構造を正確に知るには，ある程度適正な観測系による観測データの存在が不可欠である．したがって，観測系が未整備である地域においていきなり最適観測系の構築を目指すことは不可能であり，たとえ設計を行なったとしてもその観測系が適正であるという保証はない．このように，観測系の編成はある程度のデータの蓄積の上に可能となるという性質をもっており，過去の観測データを用いて継続的に改善を行なうというフィードバックの中で，徐々に適正な観測系に近づけていく努力が必要である．

本研究においては，交通量観測系の編成に必要な交通の分布構造（ＯＤ交通量，リンクのＯＤ内訳等）はＯＤ調査という別系統の調査によるデータに基づいている．したがって，ＯＤ調査データが未整備の地域では，本法を用いて適正な観測系を求めることは困難となるが，このような地域に関しても，観測されたリンク交通量からＯＤ交通量を推計し，これを用いて分布構造を推定するという方法が考えられ，上述の同一観測系によるフィードバックループに準じた観測系の改善という形態は必ずしも不可能ではない．ただし，この場合においても観測系が未整備であれば観測系を編成することの困難性は変らない．要は，交通分布構造が明らかでない地域において，本法を適用する場合には，継続的な観測系の改善を要するということである．

第２点は，観測の対象物，現象の分布構造に経年変化が存在することを否定できない点である．

交通量観測系の編成に必要な交通分布構造にも経年変化はありうる．道路網の変化，交通需要の変化により，分布構造が変化すれば観測系の編成の前提が

揺らぎ，適正な観測系であり続けることができなくなる．したがって，絶えず最新のＯＤ調査データ等から交通分布構造の変化を追跡し，分布構造の変化に応じた観測系の編成を繰返す必要があるといえよう．

第３点は，交通分布構造をいかに正確に捉えるかという問題である．

交通分布構造（ＯＤ交通量，リンクのＯＤ内訳）は，本研究において観測点配置の基礎となるデータである．分布構造の推定誤差は，最終結果の観測点配置に重大な影響を及ぼすので，可能な限り正確であることが望まれる．

ＯＤ交通量に関しては，ＯＤ調査データに基づく方法が，考えられる中で最良の方法である．リンクのＯＤ内訳に関しても，ＯＤ交通量の道路網配分以外には実用的な方法は考えられない．したがって，交通量配分の結果として求められたリンクのＯＤ内訳が，どの程度現実に適合しているかが問題となる．現在，一般的に用いられている分割配分法の原理は等時間原則配分であり，配分結果は一意のリンク内ＯＤ交通量を保証しない（リンク交通量は同一でも，そのＯＤ内訳は一通りではない）という欠陥がある．本研究では，ＯＤ内訳にばらつきを与えることで，この欠陥を補おうとしている．本来は，このような欠陥のない交通量配分手法を用いるべきではあるが，分割配分法は実用化された最も普遍的な手法であり，その適用の意義も大きい．これらの点から，配分手法の特性に関する十分な研究が必要である．

第４点は，交通量観測の目的（立場）に関する点である．

本研究では，第２章において観測目的に関する３つの柱を立て，これに基づいて理論を展開したが，これらの他に検討すべき目的がないとはいえない．著者が思いつくところでは，交通情況評価のための混雑度の推定，昼夜率を求めるための24時間観測点の選定なども重要な目的であろう．検討すべき目的については必要に応じて交通量観測系の編成に取込む姿勢が重要である．

第５点は，本研究で活用した分枝限定法に関する点である．

この方法は，整数計画問題の解法としては汎用性の高い方法であり，極めて有効である．ただし，道路網が大きくなると要素の組合せ数が増加するため，計算時間が極めて長くなるという欠点がある．本研究では，パーソナルコンピュータを用いて計算を行なったこともあって，長いものでは計算時間が30日を超えるケースもあり，実用性に欠ける面が見られた．この点から，分枝限定に

おける枝の棄却規準に関して，これまで以上の工夫が必要であろう．また，計算が長時間にわたる理由の1つに，最適解の組合せ数がかなりの数に及んでいることも挙げられる．分枝限定法では，最適解を発見できる可能性が残されている限り計算を継続するが，本研究の例では，比較的初期に目的関数の最適値が出現する場合も多かった．このような場合に，時間を短縮する目的で途中で計算を打切ることも効果的である．この処置は，以後に出現する最適解を棄却することになるので，十分な数の最適解が既に求められていることが前提となるように思われる．ただし，図9－6に示されたように，分枝限定法によって求められた解は，制約条件を満足する程度の高い順に出現する傾向をもつようである．この点は，上記の問題解決につながる重要な点であり，今後の検討課題としたい．

最後に，第6点として交通調査相互の整合の問題について述べてみたい．

交通調査は，それが交通量観測であれ，または交通行動調査であれ，個々の調査においては体系化され，内容の塾度の高いものが多い．しかし，これらの調査が他調査との相互関係について，調査内容の面から十分に検討されているとはいえない．例えば，本研究において対象とした一般交通量調査と交通量常時観測調査との関係においては，両調査の役割分担が必ずしも明確でないし，また，これらの交通量観測調査と交通行動調査（ＯＤ調査，ＰＴ調査など）との関係をみても，調査データの特徴を巧く組合せ，相互に補完することを考えれば，これまでより以上に効率的で，データの利用範囲が広い交通調査体系を構築できると考えられる．

前章までに述べたとおり，本研究は，一般交通量調査，交通量常時観測調査それぞれの特性を活かした役割分担に基づき，交通量観測系の編成を行なったものであり，本研究によって，ある程度異種の交通量観測調査間の整合を図ることができたと考える．しかし，本研究は，未だ交通行動調査（ＯＤ調査，ＰＴ調査）相互，あるいは交通行動調査と交通量観測調査との間の整合の問題を検討する段階にまで至っていない．この問題は，交通計画の方法にも重大な影響力をもつが，問題の奥深さのゆえに解決の糸口を見出すことは容易でないと考えられる．諸外国の事例研究なども交え，今後，じっくり腰を据えて取り組むべき課題であろう．

[参考文献]

1）木戸伴雄；交通調査雑考(Ⅰ),(Ⅱ)，科警研だより，Vol.29,No.3,4，1987

2）塙，高田，木戸；交通調査マニュアル，鹿島出版会，1976.5

3）交通工学研究会編；交通工学バンドブック，技報堂出版，pp.237～270，1984.1

4）土木学会；交通需要予測ハンドブック，技報堂出版，pp.17～49，1981.10

5）秋山尚夫；交通工学の応用 －第一線技術者のために－ (2) 交通に関する調査，交通工学，Vol.15 No.6，pp.33～44，1980

6）土木学会関西支部；地区交通計画 よりよい地区の交通環境を目指して －その手法と事例－，平成元年7月，pp.19～25

7）山中英生；住宅地区の交通抑制計画に関する方法論的研究（京都大学学位論文），1988.6

8）高田，天津他；車両番号照合法によるコードン交通量調査，交通工学，Vol.17 No.5，1982

9）木戸，田崎，藤井；地域の交通円滑性評価手法に関する一アプローチ －試験走行法によるネットワークスピード調査法－，第7回交通工学研究発表会論文集，pp.19～21，昭和59年11月

10）建設省道路局道路経済調査室他；道路交通センサスの改善に関する調査研究報告書，昭和59年3月

11）原田 昇；交通行動調査のバイアスに関する研究のレビュー，交通工学，Vol.24，No.5，1989

12）建設省道路局；交通管理調査・交通量常時観測調査の編成および成果の活用に関する調査研究報告書，pp.38～pp51，昭和52年3月

13）建設省道路局；同上，pp.21～47，昭和53年3月

14）外井，樗木，吉武，天本；交通量常時観測データを用いた道路区間交通量および走行台キロの推定手法に関する研究，九州大学工学集報，第62巻第2号，平成元年3月

15）藤田，外井，上田，河野；交通量常時観測調査に関する研究，土木研究所資料第1883号，昭和57年11月

16) 藤田,門脇,木下,浦野；車種分類車両感知器の開発・研究，土木技術資料 23-3, pp.33～38,1981

17) 外井哲志；交通量調査地点の配置に関する理論的考察,土木技術資料28-11, 1986

18) 外井哲志；交通量常時観測地点の最適配置に関する考察，土木学会第43回年次学術講演集，昭和63年10月

19) 外井，樗木，吉武，天本；非観測区間の交通量推定に及ぼす交通量観測地点の影響に関する研究，土木計画学研究講演集，No.11,1988.11

20) 外井，樗木，吉武，天本；非観測区間の交通量推定法における誤差の伝播構造に関する研究，九州大学工学集報，第62巻第３号，平成元年６月

21) 森木，外井，樗木，吉武；交通量推定のための交通量観測点の代表性に関する研究，土木学会西部支部研究発表会，pp.526～527, 1989.3

22) 外井，天本；非観測道路区間交通量推定のための交通量観測点の最適配置計画に関する研究，土木計画学研究・論文集７，1989.12

23) 森木哲朗；交通量推定のための交通量観測点の代表性に関する研究（九州大学卒業論文），1989

24) 土木計画学研究委員会；交通ネットワークの分析と計画，最新の理論と応用，第18回土木計画学講習会テキスト，pp.97～118，昭和62年11月

25) D.E.Low ; A New Approach to Transportation Systems Modeling, Traffic Quarterly,pp.391～404,July,1972

26) P.Robillard ; Estimating the OD Matrix from Observed Link Volume, Transpn. Res. Vol.9, pp.123～128, 1975

27) P.Högberg ; Estimation of Parameters in Models for Traffic Prediction ; A Non-linear Regression Approach, Transpn.Res. Vol.10, pp.263～265, 1976

28) H.J.V Zuylen and L.G.Willumsen;The Most Likely Trip Matrix Estimated from Traffic Counts,Transpn.Res.-B,Vol.14B,pp.281～293,1980

29) L.J.Mountain and P.M.Westwell ;The Accuracy of Estimation of Turning Flows from Automatic Counts, Traffic Engineering and Control, Vol.24,No.1,pp.3～7,January 1983

30) M.B.Göthe, K.O.Jörnsten and J.T.Lundgren ; Estimation of Origin-Destination Matrices from Traffic Counts using Multiobjective Programming Formulations, Transpn.Res.-B,Vol.23B,No.4,pp.257～269, 1989

31) C.S.Fisk ; Trip Matrix Estimation from Link Traffic Counts : The Congested Network Case,Transpn.Res.-B,Vol.23B,No.5,pp.331～336, 1989

32) W.H.K.Lam and H.P.Lo ; Accuracy of O-D Estimates from Traffic Counts, Traffic Engineering and Control, Vol.31,No.6,pp.358～367, June 1990

33) M.J.Maher ; Inferences on Trip Matrices from Observations on Link Volumes A Bayesian Statistical Approach, Transpn.Res.-B,Vol.17B, No.6,pp.435～447,1983

34) N.L.Nihan and G.A.Davis ; Application of Prediction-Error Minimization and Maximum Likelyhood to Estimate Intersection O-D Matrices from Traffic Counts, Transportation Science,Vol.23,No.2,pp.77～90, May 1989

35) 飯田，高山，金子；傾向変動を考慮したリンク交通量によるＯＤ交通量推計法，土木学会論文集，第383号／Ⅳ-7,1987.7

36) 井上博司；路上交通量観測による自動車ＯＤ交通量の推計，第１回土木計画学研究発表会講演集，pp.237,1976.10

37) 外井，樗木，吉武，天本；リンクフローによる交通需要推計のための交通量観測点の配置に関する一考察，土木学会論文集,第419号／Ⅳ-13,1990.7

38) 楊，飯田，佐々木；観測リンク交通量に基づくＯＤ交通量推計の信頼度評価法，土木学会論文集，第419号／Ⅳ-13，1990.7

39) 建設省道路局；昭和５０年度交通管理調査・交通量常時観測調査の編成および成果の活用に関する調査研究報告書その２，1976.3

40) 堀江,藤田,山川；交通量常時観測データによる道路機能の分析，交通工学, vol.17,No.4, 1982

41) 藤田，外井，浦野，山川；道路の機能分類と交通特性に関する研究，土木

研究所資料第1965号，昭和58年３月
42）外井，樗木，吉武，天本；交通特性による道路の機能分類，九州大学工学集報，第61巻第5号，昭和63年10月
43）斎藤，阿部，山広；道路区間の機能特性評価方法に関する研究，土木計画学研究・講演集，No.10，1987.11
44）外井哲志；交通量調査地点の配置間隔に関する基礎的研究，土木学会西部支部研究発表会講演集，1988.3
45）外井，樗木，天本；交通量観測点の配置間隔に関する基礎的研究，土木計画学研究・論文集８，1990.11
46）河村，神野，上田，土井；上水道配水管網系の節点需要量のオンライン予測に関する研究，土木学会論文集第405号／Ⅱ-11，1989年５月
47）神野健二；地下水汚染の解析とモニタリングの方法，水工学シリーズ90-A-6，土木学会水理委員会，1990年８月
48）新藤，大井；大気汚染物質濃度の時間空間変動特性の経年変化に基づいた観測系構成の考え方，国立公害研究所報告，第107号，1987，pp.167～184
49）日本道路協会；日本道路史，pp.493～503，昭和52年10月
50）藤田，外井，上田；道路交通調査体系の合理化に関する試験調査，建設省土木研究所，昭和56年度道路事業調査報告，pp.7～8
51）藤田，外井，上田，河野；交通量常時観測地点の適正配置に関する検討，建設省土木研究所，昭和57年度道路事業調査報告，pp.7～8
52）建設省土木研究所道路研究室他；道路交通データ処理システムの作成（その２）報告書，昭和60年3月
53）今野，鈴木編；整数計画法と組合せ最適化，日科技連，1982.6，pp.185～209
54）マクミラン著，前田功雄他訳；数理計画入門２　東京図書，pp.53～91　1972.7
55）同書　pp.121～136
56）佐々木綱；都市交通計画，国民科学社，昭和49年４月，pp.63～64
57）高山純一；リンクフロー観測値に基づいた道路網交通需要分析モデルに関する方法論的研究（学位論文），昭和63年2月

58) 屋井鉄雄；休日交通をとりまく最近の変化と分析技法の展開，交通工学，Vol.25，増刊号，1990.10，pp.58～66

59) 参考文献49)に内容の記載があるのみで，出典は不明．

60) I．ガットマン他著，石井恵一他訳；工科系のための統計概論，培風館，1968.9，pp.82～83

謝　辞

本論文は，建設省土木研究所道路部道路研究室および九州大学工学部土木工学科において研究した結果を取りまとめたものである．研究の遂行から論文作成まで，多くの方々の御指導，御助言をいただいた．

まず，建設省土木研究所において能力不足の著者を研究の進め方から御指導いただいた当時の藤田大二，柴田正雄の両室長，および研究面でいろいろとお手伝い願った河野辰男研究員に心より感謝の意を表したい．

九州大学では，樗木武教授の御指導の下に，それまでの研究をさらに発展させ，論文として体系化することができた．この間，樗木教授には研究面，論文の取りまとめに関し，適切かつ詳細にわたる御指導をいただき，論文審査では主査をお願いするなど，一方ならぬお世話になった．また，建築学科の中村洋教授，竹下輝和教授，応用理学教室の国田寛教授には，御多忙にもかかわらず論文の審査をお願いし，幅広い視点から多くの有益な指摘をいただいた．ここに，厚くお礼を申し上げる次第である．

付　　録

A．近似式の誘導（第５章）

B．観測点の追加と伝播誤差の減少に関する考察（第５章，第６章）

C．トリップの観測箇所数に関する一般式の誘導（第８章）

D．記号一覧

付録A　近似式の誘導（第5章）

（1）式(5-5)について

$$r_m + \Delta r_m = \frac{h_m + \beta_m}{f_m + \alpha_m}$$

$$= \frac{h_m(1 + \beta_m / h_m)}{f_m(1 + \alpha_m / f_m)} \qquad \text{(A-1)}$$

f_mに対してα_mは極めて小さいので，

$$\frac{1}{1 + \alpha_m / f_m} \fallingdotseq 1 - \frac{\alpha_m}{f_m}$$

よって，

$$r_m + \Delta r_m \fallingdotseq \frac{h_m}{f_m}\left(1 + \frac{\beta_m}{h_m}\right)\left(1 - \frac{\alpha_m}{f_m}\right)$$

$$= \frac{h_m}{f_m}\left(1 + \frac{\beta_m}{h_m} - \frac{\alpha_m}{f_m} - \frac{\beta_m \alpha_m}{h_m f_m}\right) \qquad \text{(A-2)}$$

上式（）内の第3項は微小項であるので省略すると，次式が導かれる．

$$r_m + \Delta r_m \fallingdotseq \frac{h_m}{f_m}\left(1 + \frac{\beta_m}{h_m} - \frac{\alpha_m}{f_m}\right) \qquad \text{(A-3)}$$

ここで，β_m / h_m，α_m / f_mに具体的な数値を与えて，式(A-1)の値に対する式(A-2)と式(A-3)の値を比較をすれば，表－Aのとおりであり，式(A-3)は十分な精度の近似式であることが分かる．

表－A

β_m / h_m	α_m / f_m	式(A-1)	式(A-2)	式(A-3)
0.01	0.01	1.0	0.9999	1.0000
0.01	0.02	1.0	0.9996	0.9998
0.02	0.01	1.0	0.9999	1.0001
0.10	0.10	1.0	0.9900	1.0000
0.10	0.20	1.0	0.9600	0.9810
0.20	0.10	1.0	0.9900	1.0080

（２）式(5-6)について

$$f_m' = f_m + \Delta f_m$$

$$= \sum_{ij \in F_m} (u_{ijm} + \Delta u_{ijm}) \sum_{M \in \mathbf{M}} (v_{ijM} + \Delta v_{ijM})(q_M + \Delta q_M)$$

$q_M = t_M$とおき，

$$v_{ijM} + \Delta v_{ijM} = \frac{t_{ijM} + e_{ijM}}{\sum_{ij \in \mathbf{G}} (t_{ijM} + e_{ijM})} \qquad \text{(A-4)}$$

であることを考慮すれば，

$$(v_{ijM} + \Delta v_{ijM})(q_M + \Delta q_M)$$

$$= \frac{(t_{ijM} + e_{ijM})(q_M + \Delta q_M)}{\sum_{ij \in \mathbf{G}} (t_{ijM} + e_{ijM})} = (t_{ijM} + e_{ijM}) \frac{(1 + \Delta q_M / t_M)}{(1 + e_M / t_M)} \qquad \text{(A-5)}$$

ここで，$1/(1 + e_M/t_M) \fallingdotseq 1 - e_M/t_M$と近似できることを考慮し，

$$\sum_{M \in \mathbf{M}} (v_{ijM} + \Delta v_{ijM})(q_M + \Delta q_M)$$

$$= \sum_{M \in \mathbf{M}} t_{ijM}(1 + e_{ijM}/t_{ijM})(1 + \Delta q_M/t_M)(1 - e_M/t_M)$$

e_{ijM}/t_{ijM}，$\Delta q_M/t_M$，e_M/t_Mは１に比して小さく，それらの２次以上微小項を省略すれば，

$$\sum_{M \in \mathbf{M}} (v_{ijM} + \Delta v_{ijM})(q_M + \Delta q_M)$$

$$\fallingdotseq \sum_{M \in \mathbf{M}} t_{ijM}(1 + e_{ijM}/t_{ijM} + \Delta q_M/t_M - e_M/t_M) \qquad \text{(A-6)}$$

次に，

$$u_{ijm} + \Delta u_{ijm} = \frac{t_{ijm} + e_{ijm}}{\sum_{M \in \mathbf{M}} (t_{ijM} + e_{ijM})} = \frac{t_{ijm} + e_{ijm}}{T_{ij} + E_{ij}} \qquad \text{(A-7)}$$

であることを考慮して，

$$f_m' = f_m + \Delta f_m$$

$$= \sum_{ij \in F_m} (u_{ijm} + \Delta u_{ijm}) \sum_{M \in \mathbf{M}} (v_{ijM} + \Delta v_{ijM})(q_M + \Delta q_M)$$

$$= \sum_{ij \in F_m} \frac{t_{ijm} + e_{ijm}}{T_{ij} + E_{ij}} \sum_{M \in \mathbf{M}} t_{ijM} \left(1 + \frac{e_{ijM}}{t_{ijM}} + \frac{\Delta q_M}{t_M} - \frac{e_M}{t_M}\right)$$

$$= \sum_{ij \in F_m} (t_{ijm} + e_{ijm}) \frac{\sum_{M \in \mathbf{M}} t_{ijM}(1 + e_{ijM}/t_{ijM} + \Delta q_M/t_M - e_M/t_M)}{T_{ij} + E_{ij}}$$

$$= \sum_{ij \in F_m} (t_{ijm} + e_{ijm}) \left\{ 1 - \frac{\sum_{M \in \mathbf{M}} t_{ijM}(e_M/t_M - \Delta q_M/t_M)}{T_{ij} + E_{ij}} \right\}$$

$$= f_m + \alpha_m - \sum_{ij \in F_m} (t_{ijm} + e_{ijm}) \frac{\sum_{M \in \mathbf{M}} t_{ijM}(e_M/t_M - \Delta q_M/t_M)}{T_{ij}(1 + E_{ij}/T_{ij})} \qquad \text{(A-8)}$$

ここで，$1/(1 + E_{ij}/T_{ij}) \fallingdotseq 1 - E_{ij}/T_{ij}$と近似できるから，

$$f_m' \fallingdotseq f_m + \alpha_m - \sum_{ij \in F_m} \frac{(t_{ijm} + e_{ijm})}{T_{ij}} \sum_{M \in \mathbf{M}} t_{ijM} \left(\frac{e_M}{t_M} - \frac{\Delta q_M}{t_M} \right) \left(1 - \frac{E_{ij}}{T_{ij}} \right)$$

しかし，E_{ij}/T_{ij}は1に比べて極めて小さいので，これを省略すれば，

$$f_m' \fallingdotseq f_m + \alpha_m - \sum_{ij \in F_m} \frac{t_{ijm} + e_{ijm}}{T_{ij}} \left\{ \sum_{M \in \mathbf{M}} t_{ijM} \frac{e_M - \Delta q_M}{t_M} \right\} \qquad \text{(5-6)}$$

付録B．観測点の追加と伝播誤差の減少に関する考察（第5章，第6章）

非観測区間の交通量推定誤差の期待値と分散は，次のとおりあった(第5章).

$$\left.\begin{aligned} \Delta t_m^* &= e_m^* - (1+r_m) \sum_{ij \in F_m} (t_{ijm}\, g_{ij}^*) \\ \sigma_{tm}^2 &= \sigma_m^2 + (1+r_m)^2 \sum_{ij \in F_m} (t_{ijm}^2\, \sigma_{gij}^2) \end{aligned}\right] \quad (5\text{-}12)$$

上式で表わされるmリンク交通量の推定誤差の期待値と分散は，観測リンクの組合せによって異なってくる．すなわち，リンクmの交通量を構成するOD交通量の成分を観測リンクで捕捉する割合が高いほど，推定誤差のうちの伝播誤差部分（上式の第2項）は小さくなると考えられる．この点を上式を用いて示したい．まず，第2式について考察する．

$1+r_m = t_m / f_m$, $f_m = \sum_{ij \in F_m} t_{ijm}$であるから，上式は，

$$\left.\begin{aligned} \sigma_{tm}^2 &= \sigma_m^2 + t_m^2 \frac{\sum_{ij \in F_m} (t_{ijm}^2\, \sigma_{gij}^2)}{(\sum_{ij \in F_m} t_{ijm})^2} \\ \sigma_{gij}^2 &= \frac{\sum_{M \in \mathbf{M}} t_{ijM}^2 \left(\frac{\sigma_M}{t_M}\right)^2}{(\sum_{M \in \mathbf{M}} t_{ijM})^2} \end{aligned}\right] \quad (B\text{-}1)$$

式(B-1)第1式の右辺の第2項および第2式右辺は，いずれもt_{ijm}^2（あるいはt_{ijM}^2）を分子にもち，t_{ijm}（あるいはt_{ijM}）の和の2乗を分母とする構造をもつ．このような式の構造は，一般に，F_mあるいは$\mathbf{M}$の要素数が増加することにより分母の増加量が分子の増加量を上回ることが期待できる．すなわち，$(\sigma_M / t_M)^2 \leq 1.0$であれば常に$\sigma_{gij}^2$は1.0以下であり，そのうえ，観測点を追加することによっても，σ_{gij}^2は確実に減少する．事実，§5.5.2の図5-12に示したように，σ_m / t_mの値は最頻値0.04～0.05で最大値でも0.2をやや上回る程度の大きさであり，上記のことがいえる．また，仮に$(\sigma_M / t_M)^2 \geq 1.0$のリンクが混在する場合にも，$(\sigma_M / t_M)^2 \leq 1.0$のリンクの中から観測点を選定することで，$\sigma_{gij}^2$を減少させることは十分に可能である．

σ_{tm}^2について考察しよう．観測点の追加によって一般にはF_mの要素数は増

加するものと考えられるが，場合によっては，追加の直前までに網羅されたF_mの要素を増加させることはできない場合もある．観測点の追加でF_mの要素数が増加する場合には，すでに述べた式の構造に基づく減少効果と，$\sigma_{g_{ij}}{}^2$が常に1.0以下であり観測点の追加によって減少を続けることにより，第1式2項が減少を続けることは明らかである．一方，観測点の追加でF_mの要素数が増加しない場合には，式の構造に基づいた減少効果は期待できないが，観測点数が増加することによる$\sigma_{g_{ij}}{}^2$の減少により，第1式第2項が減少することを期待できる．

つぎに，式（5-12）第1式の伝播誤差部分に関して考察する．

$$\left.\begin{aligned}(\Delta t_m{}^* - e_m{}^*)^2 &= t_m{}^2 \left\{ \frac{\sum_{ij \in F_m} (t_{ijm} g_{ij}{}^*)}{\sum_{ij \in F_m} t_{ijm}} \right\}^2 \\ g_{ij}{}^* &= \frac{\sum_{M \in \mathbf{M}} t_{ijM} \left(\frac{e_M{}^*}{t_M} \right)}{\sum_{M \in \mathbf{M}} t_{ijM}}\end{aligned}\right] \qquad \text{(B-2)}$$

$g_{ij}{}^*$に関して，図5－12より$e_M{}^*/t_M$に正負が混在し，その絶対値は1.0より小さく0に近いので，$g_{ij}{}^*$の分子は分母よりも常に小さく，したがって，観測点の追加によって絶対値が0に近づく．また，$g_{ij}{}^*$は正負混在する性質を$e_M{}^*$から引継いでいる．

ところで，$(\Delta t_m{}^* - e_m{}^*)^2$に関する右辺の分子に$g_{ij}{}^*$を含むため，右辺分子は分母よりも常に小さい．また，観測点を追加することにより$g_{ij}{}^*$の絶対値が次第に減少し，分子は相対的に分母よりも小さくなり，右辺全体が次第に減少する．このように，第1式についても，伝播誤差部分は観測点の追加とともに減少するといえる．

以上，式(B-1)，式(B-2)にシミュレーション結果を交えて式の性質を分析すれば，観測点の追加により$\Delta t_m{}^*$と$\sigma_{tm}{}^2$の伝播誤差部分は確実に減少することは明白である．また，これら誤差の減少は，観測点数の増加による$g_{ij}{}^*$，$\sigma_{g_{ij}}{}^2$の減少効果と，観測点の増加に基づくF_mの要素数の増加による減少効果との2つに由来することが明らかである．

次に，分布交通量，発生交通量の推定誤差に関して述べよう．（第６章）

分布交通量推定の誤差評価値は，

$$X_{ij}^2 = \Delta x_{ij}^{*2} + \sigma_{xij}^2 \tag{6-10}$$

ここに，

$$\left.\begin{aligned} \Delta x_{ij}^* &= -\sum_{m \in L} \xi_m u_{ijm} e_m^* / \sum_{m \in L} \xi_m \delta_{ijm} \\ \sigma_{xij}^2 &= \sum_{m \in L} (\xi_m u_{ijm})^2 \sigma_m^2 / (\sum_{m \in L} \xi_m \delta_{ijm})^2 \end{aligned}\right] \tag{6-9}$$

ここで，$u_{ijm} = v_{ijm} / p_{ijm} = x_{ij} / t_m$だから，

$$\Delta x_{ij}^* = -x_{ij} \sum_{m \in L} \xi_m \delta_{ijm} (e_m^* / t_m) / \sum_{m \in L} \xi_m \delta_{ijm}$$

$$\sigma_{xij}^2 = x_{ij}^2 \sum_{m \in L} (\xi_m \delta_{ijm})^2 (\sigma_m / t_m)^2 / (\sum_{m \in L} \xi_m \delta_{ijm})^2$$

したがって，

$$X_{ij}^2 = x_{ij}^2 \left\{ \frac{(\sum_{m \in L} \xi_m \delta_{ijm} \frac{e_m^*}{t_m})^2}{(\sum_{m \in L} \xi_m \delta_{ijm})^2} + \frac{\sum_{m \in L} (\xi_m \delta_{ijm})^2 (\frac{\sigma_m}{t_m})^2}{(\sum_{m \in L} \xi_m \delta_{ijm})^2} \right\} \tag{B-3}$$

上式｛｝内第１項，第２項ともに，すでに考察した式(B-1)と類似の構造をしている．すなわち，第１項においては$e_m^* / t_m < 1.0$であるから(図5-12)，また，第２項においては$\sigma_m / t_m < 1.0$であることから(図5-12)，ともに観測点の追加によって分子は分母よりも相対的に小さくなることがわかる．したがって，分布交通量の推定誤差評価値は，観測点の追加によって減少するといえる．

発生交通量推定誤差の評価値は，

$$Y_i = \Delta y_i^{*2} + \sigma_{yi}^2 \tag{6-22}$$

ここに，

$$\begin{aligned} \Delta y_i^* &= -\sum_{m \in L} \xi_m \gamma_{im} e_m^* / \sum_{m \in L} \xi_m \beta_{im} \\ \sigma_{yi}^2 &= \sum_{m \in L} (\xi_m \gamma_{im})^2 \sigma_m^2 / (\sum_{m \in L} \xi_m \beta_{im})^2 \end{aligned} \tag{6-21}$$

ここで，$\gamma_{im} = w_{im} / r_{im} = y_i / t_m$であるから，式(6-21)は，

$$\Delta y_i^* = -y_i \sum_{m \in L} \xi_m \beta_{im} (e_m^* / t_m) / \sum_{m \in L} \xi_m \beta_{im}$$

$$\sigma_{yi}^2 = y_i^2 \sum_{m \in L} (\xi_m \beta_{im})^2 (\sigma_m / t_m)^2 / (\sum_{m \in L} \xi_m \beta_{im})^2$$

したがって，

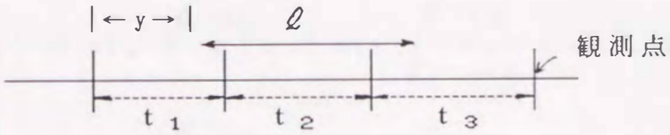
$$Y_i^2 = y_i^{*2}\left\{\frac{\left(\sum_{m\in L}\xi_m\beta_{im}\frac{e_m^*}{t_m}\right)^2}{\left(\sum_{m\in L}\xi_m\beta_{im}\right)^2} + \frac{\sum_{m\in L}(\xi_m\beta_{im})^2\left(\frac{\sigma_m}{t_m}\right)^2}{\left(\sum_{m\in L}\xi_m\beta_{im}\right)^2}\right\} \tag{B-4}$$

式(B-4)を式(B-3)と比較すると，右辺においてx_{ij}^2，δ_{ijm}の代りにそれぞれy_i^{*2}，β_{im}で置き換えたに過ぎず，式の構造は同じである．したがって，分布交通量の場合と全く同様に，発生交通量の推定誤差評価値は観測点の追加によって減少するといえる．

付録C．トリップの観測箇所数に関する一般式の誘導（第8章）

（1）確率分布する観測点間隔 t（確率密度関数 g（t））に対して，長さ ℓ のトリップが n（＝2, 3, ･･･）箇所で観測される確率の一般式の誘導

① n ＝ 2 の場合



2箇所で観測されるためには，$t_1+t_2+t_3>\ell$，かつ $t_2<\ell$ でなければならない．この条件下で2箇所で観測されるためには，次の4つの場合がある．

a） $t_1+t_2>\ell$，$t_2+t_3>\ell$ and $t_1+t_2-\ell<y<t_1$

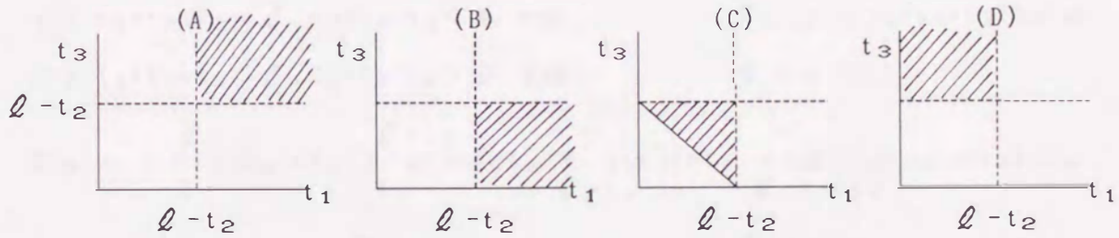
b） $t_1+t_2>\ell$，$t_2+t_3<\ell$ and $t_1+t_2-\ell<y<t_1+t_2+t_3-\ell$

c） $t_1+t_2<\ell$，$t_2+t_3<\ell$ and $0<y<t_1+t_2+t_3-\ell$

d） $t_1+t_2<\ell$，$t_2+t_3>\ell$ and $0<y<t_1$

よって，

$$
\begin{aligned}
P_2 = {} & Pr(t_1+t_2+t_3>\ell,\ t_2<\ell \mid t_1+t_2>\ell,\ t_2+t_3>\ell,\ t_1+t_2-\ell<y<t_1) \\
& + Pr(t_1+t_2+t_3>\ell,\ t_2<\ell \mid t_1+t_2>\ell,\ t_2+t_3<\ell,\ t_1+t_2-\ell<y<t_1+t_2+t_3-\ell) \\
& + Pr(t_1+t_2+t_3>\ell,\ t_2<\ell \mid t_1+t_2<\ell,\ t_2+t_3<\ell,\ 0<y<t_1+t_2+t_3-\ell) \\
& + Pr(t_1+t_2+t_3>\ell,\ t_2<\ell \mid t_1+t_2<\ell,\ t_2+t_3>\ell,\ 0<y<t_1)
\end{aligned}
$$



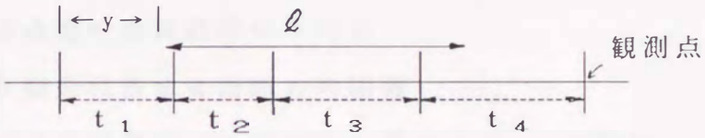
図C－1　確率の領域

P_2は，上記の4つのyの存在範囲を t_1，t_2，t_3に関する条件下で確率密度関数 g（t）に基づいて平均し，加え合わせたものと t の期待値 t*との比で与えられる．すなわち，**図C－1**を用いれば，上式の4つの確率は，それぞれ(A)～(D)に示した t_1と t_3の平面における斜線領域での y の期待値を表わすものである．

以上を積分記号を用いて表現すれば，

$$
\begin{aligned}
P_2 = \{ & \int_0^{\ell} g(t_2)\,dt_2 \int_{\ell-t_2}^{\infty} g(t_1)\,dt_1 \int_{\ell-t_2}^{\infty} (\ell - t_2)\, g(t_3)\,dt_3 \\
+ & \int_0^{\ell} g(t_2)\,dt_2 \int_{\ell-t_2}^{\infty} g(t_1)\,dt_1 \int_0^{\ell-t_2} t_3\, g(t_3)\,dt_3 \\
+ & \int_0^{\ell} g(t_2)\,dt_2 \int_0^{\ell-t_2} g(t_1)\,dt_1 \int_{\ell-t_1-t_2}^{\ell-t_2} (t_1+t_2+t_3)\, g(t_3)\,dt_3 \\
+ & \int_0^{\ell} g(t_2)\,dt_2 \int_0^{\ell-t_2} g(t_1)\,dt_1 \int_{\ell-t_2}^{\infty} t_1\, g(t_3)\,dt_3 \} \,/\, t^{*}
\end{aligned}
\qquad \text{(C-1)}
$$

② n = 3 の場合



3箇所で観測されるためには，$t_1+t_2+t_3+t_4>\ell$，かつ $t_2+t_3<\ell$ でなければならない．この条件下で3箇所で観測されるためには，次の4つの場合がある．

a) $t_1+t_2+t_3>\ell,\ t_2+t_3+t_4>\ell$ and $t_1+t_2+t_3-\ell<y<t_1$

b) $t_1+t_2+t_3>\ell,\ t_2+t_3+t_4<\ell$ and $t_1+t_2+t_3-\ell<y<t_1+t_2+t_3+t_4-\ell$

c) $t_1+t_2+t_3<\ell,\ t_2+t_3+t_4<\ell$ and $0<y<t_1+t_2+t_3+t_4-\ell$

d) $t_1+t_2+t_3<\ell,\ t_2+t_3+t_4>\ell$ and $0<y<t_1$

$$
\begin{aligned}
P_3 = \{ & \int_0^{\ell} g(t_2)dt_2 \int_0^{\ell-t_2} g(t_3)dt_3 \int_{\ell-t_2-t_3}^{\infty} g(t_1)dt_1 \int_{\ell-t_2-t_3}^{\infty} (\ell-t_2-t_3)g(t_4)dt_4 \\
+ & \int_0^{\ell} g(t_2)dt_2 \int_0^{\ell-t_2} g(t_3)dt_3 \int_{\ell-t_2-t_3}^{\infty} g(t_1)dt_1 \int_0^{\ell-t_2-t_3} t_4\, g(t_4)dt_4 \\
+ & \int_0^{\ell} g(t_2)dt_2 \int_0^{\ell-t_2} g(t_3)dt_3 \int_0^{\ell-t_2-t_3} g(t_1)dt_1 \int_{\ell-t_1-t_2-t_3}^{\ell-t_2-t_3} (t_1+t_2+t_3+t_4-\ell)g(t_4)dt_4 \\
+ & \int_0^{\ell} g(t_2)dt_2 \int_0^{\ell-t_2} g(t_3)dt_3 \int_0^{\ell-t_2-t_3} g(t_1)dt_1 \int_{\ell-t_2-t_3}^{\infty} t_1\, g(t_4)dt_4 \} \,/\, t^{*}
\end{aligned}
\qquad \text{(C-2)}
$$

付録D．記号一覧

（1）ネットワーク表記のための記号における添字は，経路をk，ODペアをij，リンクをmを基本とするが，第4章において行列表現の都合上ODペアの添字をnで表わし，第5，6章で観測リンクの添字をMで表わしている．

（2）太字体は集合または行列を表わす．

（3）推定値，誤差を含む数量は"’"で，また，推定誤差は"⊿"を付して示す．

（4）期待値，平均値は右肩に"＊"を付す．

A　：$\mathbf{N}_I$から除去リンクを除いたリンク集合

D_{AB}　：観測点Aと観測点Bの間の直接経路の最短距離．

D^*　：観測点間の直接経路の平均長

DR^k　：OD間を代表する経路kの距離

E_{ij}　：すべての観測点（$m \in \mathbf{M}$）に関するe_{ijm}の総和

$\mathbf{F}_m$　：リンクmを流れるODペアのうち，道路網内の観測点において少なくとも一部が観測されているODペアの集合

G　：ODペアの集合

G　：すべてのODペア数

$\mathbf{H}_m$　：リンクmを流れるODペアのうち，道路網内のいずれの観測点においても観測されていないODペアの集合

L　：全リンクの集合

L　：対象リンク数

M　：観測リンクの集合

$M(\ell)$　：長さℓのトリップが通過する観測点数の期待値

$\mathbf{N}_O$　：初期可能解のリンク集合

$\mathbf{N}_I$　：第I可能解のリンク集合

P_n　：トリップがn箇所で観測される確率

R　：すべてのODペア間に生ずる経路数の総和

R^*　：観測点間経路の全数

$\mathbf{R}_A$　：観測点Aを一端とする観測点間経路の他端の集合

R_{Ai}, R_{Ak} ：観測点Aを含むリンクの両端のノードをi，kとすると，R_Aのうちそれぞれノードiを通る経路の他端の集合およびノードkを通る経路の他端の集合

R_{ij} ：ij間OD交通量が流れる代替ルートの集合

S ：リンク集合Γからえられる可能解のリンクの集合

S_m ：リンクmで$\delta_{ijm}=1$であるODペアijの集合

T_{ij} ：道路網内の観測リンクを通過するij間OD交通量の単純和

V_{ijm} ：リンクmにおけるij間ODの走行台キロ.

X_{ij}^2 ：x_{ij}の推定誤差評価値（$=\Delta x_{ij}^{*2}+\sigma_{xij}^2$）

Y_i^2 ：y_iの推定誤差評価値（$=\Delta y_i^{*2}+\sigma_{yi}^2$）

Z ：観測点数（目的関数の値）

Z_D ：経路長の分散

Z_I ：第I可能解のリンク数

Z_O ：初期可能解のリンク数

b_n ：ODペアnの交通量が観測点で観測される延べ台数.

c_n ：ODペアnの交通量観測点数の総和.

d_m ：リンクmの延長

d_{kA}, d_{iA} ：ノードk，iを両端とするリンク上の観測点Aとk，iとの距離

d_{ki} ：ノードk，iを両端とするリンクの長さ.

e_{ij}^k ：ij間OD交通量の流れる第kルートへの配分誤差

e_{ijm} ：t_{ijm}の推定誤差

e_m ：すべてのODペア（ij∈G）に関するe_{ijm}の総和

e_m^* ：e_mの期待値

f_m ：t_{ijm}のうち，観測リンクを通過するOD（ij∈F_m）に関する和

$f(\ell)$ ：トリップ長ℓの確率密度関数

g_{ij} ：式(5-10)の定義による伝播誤差成分

g_{ij}^* ：g_{ij}の期待値

$g(t)$ ：観測点間隔tの確率密度関数

h_m ：t_{ijm}のうち，観測リンクを通過しないOD（ij∈H_m）に関する和

ℓ　　：トリップ長

ℓ'　　：トリップ長の推定値

ℓ^*　　：トリップ長の平均値

n_m　　：リンクmを通過するODペア数

p_{mij}　：ij間OD交通量のリンクm利用率

q_{ij}^k（q_n^k）：ij間OD（第nODペア）交通量のうち，第k経路を通過する交通量

q_M　　：観測リンクMにおける観測交通量

r_A，r_{Ai}，r_{Ak}　：それぞれ$\mathbf{R}_A$，$\mathbf{R}_{Ai}$，$\mathbf{R}_{Ak}$の要素数

r_{im}　　：iゾーン発生交通量がリンクmを利用する確率

r_m　　：h_mのf_mに対する比率

s_{ijm}　：v_{ijm}/p_{mij}（$p_{mij}\neq 0$），0（$p_{mij}=0$），

s_m^k　　：経路k上にリンクmがある場合1，ない場合0

s_{nm}　　：リンクmを流れる第nODペア交通量（$n=ij$のとき$s_{nm}=t_{ijm}$）

t　　：観測点間隔

t^*　　：観測点間隔の期待値

$t^{(*)}$　：ε^{2*}に対する平均観測点間隔

t_{ijm}　：リンクmを通過するij間OD交通量

t_{im}　　：リンクm中のiゾーン関連交通量

t_m　　：リンクmの交通量

u_{ijm}　：t_{ijm}のT_{ij}に対する比率

v_{ijm}　：リンクm中のij間OD交通量の割合

w_{im}　　：t_mに対するリンクm中のiゾーン関連交通量の割合

x_{ij}　　：ij間OD交通量

y_i　　：ゾーンiの発生交通量

ΔD^*　：D^*の変化量

$\Delta \mathbf{N}_I$　：リンク集合Aに対する未検討リンク集合

ΔZ_D　：Z_Dの変化量

Δd_{iA}　：ノードk，iを両端とするリンク上の観測点Aのi→k方向への

移動量

Δf_m ：f_mの推定誤差

Δh_m ：h_mの推定誤差

Δq_M ：q_Mに含まれる観測誤差

Δt_m ：t_mの推定誤差

Δt_m^* ：Δt_mの期待値

Δx_{ij} ：x_{ij}の推定誤差

Δx_{ij}^* ：Δx_{ij}の期待値

Δy_i ：y_iの推定誤差

Δy_i^* ：Δy_iの期待値

Γ ：**A**と$\Delta \mathbf{N}_I$の和集合

α_m ：e_{ijm}のうち観測リンクを通過するＯＤペア($ij \in F_m$)に関する和

β_m ：e_{ijm}のうち観測リンクを通過しないＯＤペア($ij \in H_j$)に関する和

β_{im} ：リンクｍにｉゾーン交通量が通過する場合１，その他の場合０

γ_{im} ：w_{mi}/r_{im} ($r_{im} \neq 0$)，　０ ($r_{im}=0$)

δ_{ijm} (δ_{nm})：ｉｊ間ＯＤ(ＯＤペアｎ)交通量がリンクｍに流れているか否かを示す．ｎ＝ｉｊとすれば，$\delta_{nm}=\delta_{ijm}$

ε_n^2 ：ｎ回観測されるトリップのトリップ長推定誤差の２乗平均値

ε^{*2} ：トリップ長推定誤差の２乗平均値

$\varepsilon^{(*)2}$ ：観測精度の設定値

ζ^k ：経路ｋ上の観測点基準配置密度

η_{ij} ：ｉｊ間ＯＤ交通量の一部が観測される場合１，そうでない場合０

θ_{ij}^2 ：X_{ij}^2の許容水準値

λ_m^2 ：リンクｍ交通量の推定誤差の評価値（$=\Delta t_m^{*2}+\sigma_{tm}^2$）

μ_{ki} ：第ｋグループに属する区間の指標ｉの平均値

μ_ℓ ：トリップ長分布を対数正規分布とした場合のパラメータ

ν_{mk} ：道路区間ｍの第ｋグループ重心からの概念距離

ξ_m ：リンクｍが観測リンクである場合１，そうでない場合０

ρ_i^2 ：Y_i^2の許容水準値

σ_m^2　：e_mの分散

σ_{gij}^2　：g_{ij}の分散

σ_{ki}　：第kグループに属する区間の指標iの標準偏差

σ_ℓ　：対数正規分布をトリップ長分布とした場合のパラメータ

σ_t　：観測点間隔の標準偏差

σ_{tm}^2　：Δt_mの分散

σ_{xij}^2　：Δx_{ij}の分散

σ_{yi}^2　：Δy_iの分散

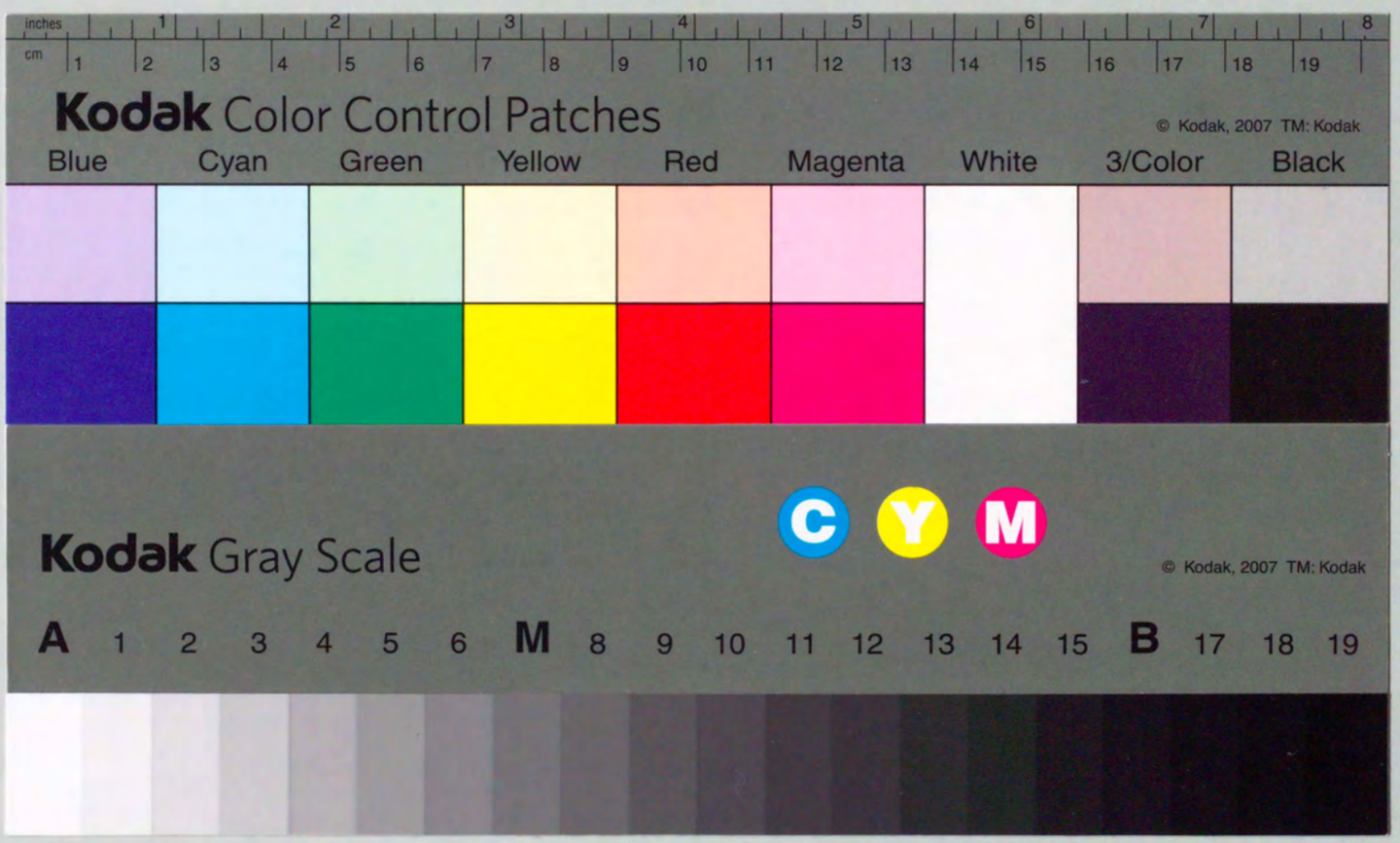
τ_m^2　：λ_m^2の許容水準値

ϕ_{mk}　：道路区間mがグループkに属する場合1，属さない場合0

χ_{mki}　：第kグループに属する区間mの指標iの値

ϕ_{AB}　：AB間の直接経路が存在するとき1，存在しないとき0.

ω_m^k　：第k経路にリンクmがある場合1，そうでない場合0


inches
1 2 3 4 5 6 7 8
cm
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19
Kodak Color Control Patches
© Kodak, 2007 TM: Kodak
Blue
Cyan
Green
Yellow
Red
Magenta
White
3/Color
Black
C
Y
M
Kodak Gray Scale
© Kodak, 2007 TM: Kodak
A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19