

IV—1 交通安全対策としての交通規制取締りの計画手法に関する基礎的研究

室蘭工業大学 正 員 ○ 石 井 憲 一

室蘭工業大学 正 員 斎 藤 和 夫

1. はじめに

道路交通事故の社会的被害の重大性が問題となってから久しいが、国や地方公共団体による安全対策への社会経済的投資の増大と安全意識高揚のPRの推進の成果として近年、事故発生量は減少の傾向を示している。このことから諸対策の実効は上がっていると言えるが事故発生の危険度の分析と評価は、事故減少は必ずしも一様に進行しているものではなく地域的にはすう勢に反して危険度が著しく増加している部分のあることを示している¹⁾。特に、北海道は危険度のパラメータである死亡事故の多発地域であり昭和53、54年には増加傾向に転じたことから安全対策の総点検など、問題の重大性がクローズアップされている。

ところで、北海道は事故百件当りの死亡者数で表わす致死率も大きく全国平均の約2倍であるが、これら死亡事故の原因はスピードの出し過ぎや前方不注意など、道路環境からの心理的效果（悪しき影響）によると思われるものが非常に多い。したがって、天候や季節などのような道路環境の影響の制御を含めた道路の安全施設の充実と同時に、物理的・心理的效果が地域に対して期待できる交通規制取締りを効率的に実施することが今後の重要な課題となろう。

2. 研究の目的と手順

本研究は、この交通規制取締りを効率的に行なうための計画手法として統計的品質管理(Statistical Quality Control ; SQC)の一つである管理図法(Control Chart Method)を応用することの基礎的研究である。統計的品質管理の交通安全対策面への応用としては斎藤が事故率品質管理法によった道路区間の危険度評価に成果を示し²⁾、また交通取締り面への応用の基本的な考え方はR. Brennerらによって示されている³⁾。さて、効果的に交通規制取締りを実施するためには概略的に図一/のようなフローダイアグラムが考えられるが、管理図法は事故発生量の危険度の変化の統計的早期検出法として有用であると思われる。この観点から、管理図法の適用性を北海道の幹線道路網上の事故発生量を対象としたケーススタディにより検討しかつ、より効率的な交通規制取締り実施のプログラム策定にアプローチする。

3. 管理図法^{3,4,5)}

3-1. 事故発生量の分布

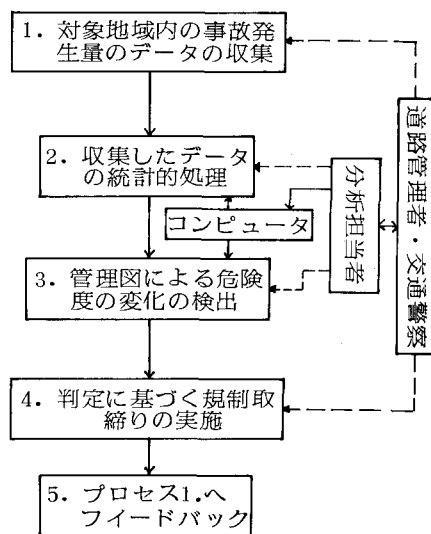
一般に、管理図は対象となる事象の従う分布形によって平均値と範囲の管理図と、欠点数の管理図とが使い分けられる。したがって、事象の分布形が重要となるが事故発生量は確率密度分布として式(1)で表わされるポアソン分布(Poisson distribution)である。

$$P(x) = \frac{e^{-m} \cdot m^x}{x!}, \quad E(x) = V(x) = m \quad \dots (1)$$

ここで、 $P(x)$: 事故期待値が m のときに事故が x 件発生する確率、

m : 平均発生量, $E(x)$: 事故期待値, $V(x)$: 分散。

式(1)で示されるように、ポアソン分布の特徴は期待値と分散が標本平均に等しいことでありかつ、交通事故発生量のようなまれな現象によく当てはまることである。



図一/ . 規制取締り実施プログラム

3-2. 信頼区間と管理限界

管理図による事故発生の危険度の正しい評価のためにはより精確に将来における事故発生日量（事故期待値, accident expectation）を推定しかつ、事故発生日量の固有の変動を量的には握して危険度の変化を発見する必要がある。したがって、管理図において信頼区間（confidence interval）を決定し管理限界（control limit）を設定することがこれらを満足する統計的方法となる。信頼区間は、統計的推論の方法としての区間推定法（interval estimation）にかかわるもので、たとえば例として両側95%有意水準（危険率 5%）を考えると信頼区間は式（2）で表わすことができよう。

$$\text{Pr.} (A < \eta < B) = 0.95 \quad \dots (2)$$

これは、対象となる道路区間の事故発生プロセスになんら変化がない場合実際の発生日量がAとBの範囲内に95%の確率で入ることを期待するものである。この場合、確率論という二種類の過誤が問題となる。それらは、

表-1. 信頼区間を採用する場合に起る判定の正誤（ α, β エラー）

事 象	判 定	事故発生日原因プロセスの実際の状況	
		変化あり	変化なし
観測された値が信頼区間の上限を越える	事故原因に変化あり（悪化）	判定は正しい	判定は間違い（ α エラー）
信頼区間内にある	事故原因に変化なし	判定は間違い（ β エラー）	判定は正しい
観測された値が信頼区間の下限より下にある	事故原因に変化あり（改善）	判定は正しい	判定は間違い（ α エラー）

イ) 実際には変化がないのに間違った警告をする過誤～ false alarm, α エラー～

ロ) 実際に起っている変化を発見し損う過誤～ fail to detect, β エラー～

であるが、管理の対象となる事象によってこれら二つのエラーの大小関係が問題となるのでその関係を表-1に示す。

事故発生日量は式（1）のポアソン分布に適合することから管理図は欠点数管理図（control chart for defects, c-chart）を採用するが、信頼区間は式（3）で与えられる。

$$\text{Pr.} \left\{ (m - K_e \sqrt{m}) < x < (m + K_e \sqrt{m}) \right\} = f(K_e) \quad \dots (3)$$

ここで、 $f(K_e)$: 事故発生日量 x が平均発生日量 m を中心に標準偏差の K_e 倍に入る確率、

e : 危険率、 K_e : 危険率に対応する管理限界を示す係数。

管理限界は、事象を判定するための管理水準であり両側検定では一般に $3-\sigma$ （Action Limit）法と $2-\sigma$ （Warning Limit）法を採用するので、式（4）と（5）に示す。

$$\begin{aligned} e = 0.3\% : \left. \begin{aligned} \text{UAL (Upper Action Limit)} &= m + 3\sqrt{m} \\ \text{LAL (Lower Action Limit)} &= m - 3\sqrt{m} \end{aligned} \right\} \quad \dots (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e = 5\% : \left. \begin{aligned} \text{UWL (Upper Warning Limit)} &= m + 2\sqrt{m} \\ \text{LWL (Lower Warning Limit)} &= m - 2\sqrt{m} \end{aligned} \right\} \quad \dots (5) \end{aligned}$$

また、ポアソン分布を想定していることから両側の管理限界（CL）に対しては、それぞれにおいて、

$$\frac{\text{LCL}}{\sum_{x=0}^{\infty} \frac{e^{-m} \cdot m^x}{x!}} \leq \frac{e}{2}, \quad \frac{\text{UCL}}{\sum_{x=\text{UCL}}^{\infty} \frac{e^{-m} \cdot m^x}{x!}} \leq \frac{e}{2} \quad \dots (6)$$

（LCL=下限の管理限界、UCL=上限の管理限界を表わす）

を満足している。

3-3. 判定規則

事象における異常原因を除去するために管理図を使うという原則から、管理限界は判定するための基本ルールとして設けられるものでありしたがって、管理の基準（Criterion of Control）を満足するような判定規則（decision rule）が必要となる。一般に、管理図法における管理の基準は次の4項目に集約できる。

イ) 異常原因の存在を知らせなければならない、

ロ) ただつきとめうる原因（異常原因）の存在を示すだけでなく、これらの原因の発見をたやすく

するような方法で示さなければならない、

ハ) できるだけ簡単であって、継続的かつ自己修正的な管理活動に適用できるものでなければならない、

ニ) つきとめうる原因が存在しないときにそれを探す機会をあらかじめきめられた値以下に押えるようなものでなければならない。

これらの基準 (CC) を満足する、事故発生原因プロセスの悪化を示唆する判定規則は、危険率 α (3-2. の e と同じもので α エラー) の許容範囲から次の5ルールである。

ルール 1) 事故発生量の連続した4点の各々が直前の値より大きくかつ、連の最後がUAL ($3-\sigma$) を越えている ($\alpha = 0.3\%$) .

ルール 2) 事故発生量の連続した2点がUWL ($2-\sigma$) を越えている ($\alpha = 0.3\%$) .

ルール 3) 事故発生量の連続した7点が事故期待値より大きい ($\alpha = 0.4\%$) .

ルール 4) 事故発生量の連続した10点中の10点が事故期待値より大きい ($\alpha = 0.5\%$) .

ルール 5) 事故発生量の連が次のような組合せでUWL ($2-\sigma$) を越えている ($\alpha = 1\%$) .

- ・連続した3点中2点以上、
- ・連続した7点中3点以上、
- ・連続した10点中4点以上。

ルール 1) と 2) の概念を図-2と図-3に示す。

3-4. 事故期待値の推定

管理図法において、将来の平均の推定値すなわち期待値 (expectation) を精確に推定することが統計的に有用な結論を導びくことになる。ここでは次のような推定方法があげられる。

- ・ポアソン分布をなす重みづけのない推定式 (事故期待値)
- ・ポアソン分布をなす重みづけされた推定式 (事故期待値)
- ・一定の環境要因下でのポアソン分布をなす重みづけのない推定式 (事故率期待値)
- ・一定の環境要因下でのポアソン分布をなす重みづけされた推定式 (事故率期待値)

4. ケーススタディ

4-1. 概要

管理図を応用して事故発生原因プロセスの変化 (悪化) を検出し、交通規制取締り実施に供するためには次の手順が必要となる。

- 1) 事前における反応・・・管理図から悪化状態を検知すること。
- 2) 事後における対策・・・規制取締りの有無による効果の検証すなわち、無対策の場合にと想定した事故期待値と実際に起った事故発生量との差の統計的有意性の検定作業とその評価。

本研究はこの2点をふまえ、北海道の主要国道を対象として事故管理図を作成すること、事故発生原因プロセスの変化 (悪化) を判定規則によって検出すること、その場合に生ずるとされる統計処理上の問題点の検討とこれらの計算処理の手順について報告するものである。

4-2. 対象地域 (区間) とデータ

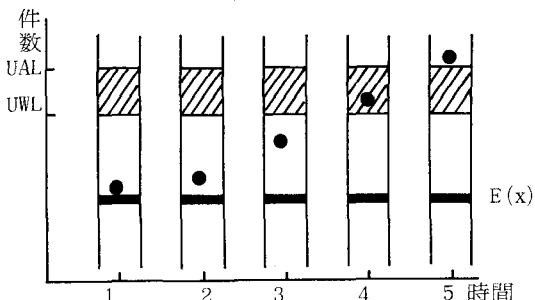


図-2. 事故管理図の例,ルール 1.



図-3. 事故管理図の例,ルール 2.

対象地域として2つの路線網を設定した。

ループ 1. Route 12 (札幌～旭川) —
→ Route233 (深川～秩父別) —
→ Route275 (秩父別～札幌) .

ループ 2. Route 36 (札幌～室蘭) —
→ Route 37 (室蘭～虻田) —
→ Route230 (虻田～札幌) .

基本として、ループ 1は5つの区間、ループ 2は6つの区間に分割してそれぞれのデータとした。事故発生量と要因データは昭和49年のもので、発生量は日、週、2週、旬と月別の時系列データとして集計し、要因は全国道路情勢調査表から得た。これを図-4と表-2に示す。

4-3. 事故管理図

事故管理図を採用する場合の基本的な条件として次の3点が上げられる。

1) 事故発生と関連のある環境要因の情報を系統立てること、

2) 管理図システムの選択は最適と思われる区間長、統計期間長と管理図感度の組合せで行なうこと、

3) 事故発生原因プロセスの根本的変化の徴候を感知することのできる管理図システムを利用すること。

ところで、管理図システムとしては3-2より次の3システムがある。

A) 右側片側管理限界による管理図で原因プロセスの悪化の判定に用いられる。

B) 左側片側管理限界による管理図で原因プロセスの改善の判定に用いられる。

C) 両側管理限界に基づく管理図で事前の情報がない場合あるいは悪化と改善の両方を判定する場合に用いられる。

ここでは事故発生原因プロセスの変化（悪化）に対して3-3の判定規則を適用することから、主に管理図システム A) について分析した。

事故期待値の推定はデータ集計期間の単純総平均、4項単純加重平均～式（7）～と4項重みづけ加重平均を用いた。

$$m_t = \sum_{i=1}^4 Y_{t-i} \dots (7)$$

ここで、

m_t : 期間tの事故期待値、

Y_{t-i} : 期間（t-i）における事故発生量。

4-4. 計算の手順

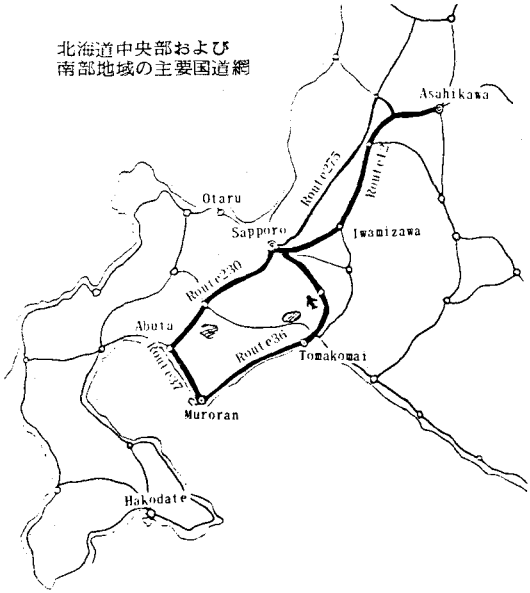


図-4. 対象地域の概略

表-2. 対象区域の区間別データ

区間番号	区間長 km	走行量 百万台km	事故発生量 件	事故密度 件/km
1-1	47.9	339.6	421	8.79
1-2	46.5	217.1	247	5.31
1-3	42.3	165.9	142	3.36
1-4	58.7	110.9	90	1.53
1-5	61.6	204.7	122	1.98
小計	257.0		1022	
2-1	14.6	175.9	304	20.82
2-2	51.0	289.6	199	3.90
2-3	48.7	236.1	170	3.49
2-4	54.7	336.3	300	5.48
2-5	63.4	91.7	67	1.06
2-6	45.7	308.1	186	4.07
小計	278.1		1226	

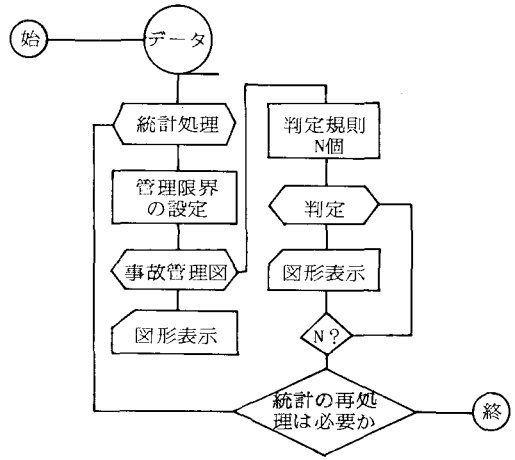


図-5. 計算のフローチャート

対象区間のデータ収集から事故管理図の適用と判定までのコンピュータによる計算手順の概略を図-5のフローチャートで示す。

4-5. 結果の分析

事故発生量の多い区間(1-1)と区間(2-1)の事故管理図について、週単位の統計に対して1)総平均2)4項単純加重平均による事故期待値を採用した結果について示す。

1. 区間(1-1)はUAL を越える点が多く、第40週以降でその傾向が著しい。第47週～第51週でルール1)とルール2)によって判定規則は悪化を示した。また、総平均では悪化と判定されなかったところで加重平均の事故期待値を採用することにより、その傾向が示された。

2. 区間(2-1)はUAL を越える点がほとんどないが、単純平均の事故管理図は第31週～第38週でルール3)そして加重平均では第47週～第51週でルール1) (UAL は越えていない) によって悪化の判定が示された。

3. これらから、事故期待値の推定方法が事故管理図の感度を大きく左右することが明らかになった。また、判定規則は事故発生量の連の傾向からは示されない原因プロセスの悪化傾向を明らかにした。

事故管理図と数値表を図-6、7と表-3に示す。本分析で行った他の区間の事故管理図では事故発生量が統計的に少ないため明らかな判定を示していなかった。統計的条件を満足するためには、統計区間長あるいは期間長の延長などの操作が手段として考えられよう。

5. 考 察

結果の分析から、事故管理図は事故発生原因プロセスの悪化状態をかなり明確に判定しうることが示され、目的とする交通規制取締り実施プログラムに組み込み、事故発生の危険度の変化を早期発見するための統計的方法の1つとして有用であることがわかった。しかしながら、事故管理図の採用には次のような熟慮しなければならない問題点がある。

1. 信頼区間に基づく判定における2種類の過誤 (α と β) の関係: 「一方を小さくしようとすれば自動的に他方が大きくなってしまふ」この両者の相互関係

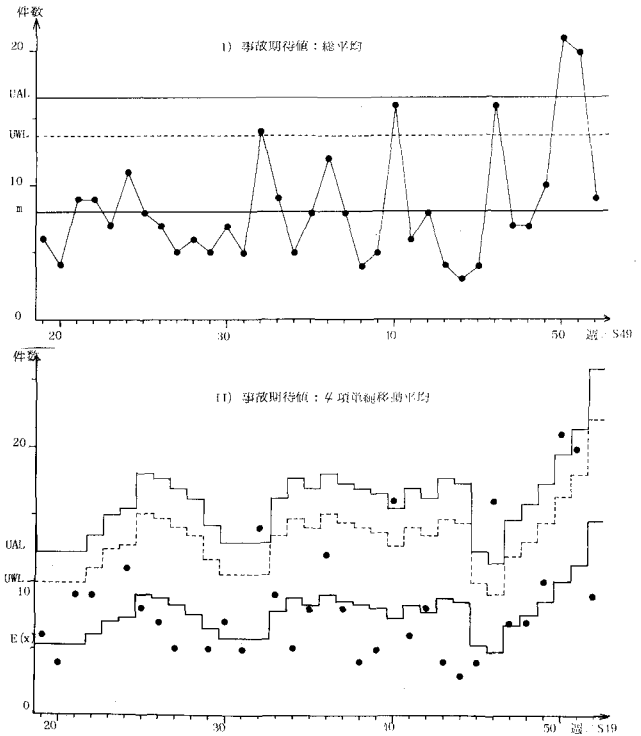


図-6. 事故管理図 (システム A), 区間 1-1.

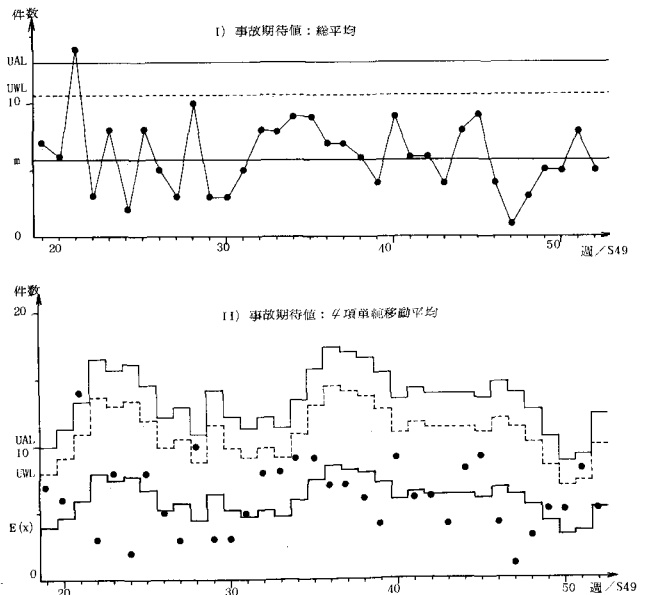


図-7. 事故管理図 (システム A), 区間 2-1.

は、たとえば図-8のようになる。また、事故発生原因プロセスの変化の判定を考えた場合には3-2で述べたように、実際に起っている変化を発見し損う β エラーをできるだけ小さくする必要があるがこの β エラーは悪化の予測増加率 K を考慮すると表-4に示すように期待値 λ 、 α エラーと増加率 K によって定まり、事故管理図の感度となる。したがって、事故管理図では安全性(Safety)の観点から最も合理的にバランスさせる必要がある。

2. 統計区間と期間の長さ: 統計区間長 L と期間長 T は最適性を考慮した場合図-9に示されるようなトレードオフの関係にある。これは交通規制取締り実施プログラムの経済性・合理性にかかわるがさらに、事故期待値の有意意味な推定を行うことのキーポイントとなる。

3. 事故期待値の推定方法: 事故発生量がポアソン分布に従うという想定ではあるが、本分析で示されたように推定方法の適否は事故管理図の有用性に著しく影響する。

4. 実際の交通規制取締りに適用する場合には道路環境要因の影響を組み込み、規制取締りの効果の事前事後測定ができるシステムを採用しかつ、人員投資と割付け問題をダイナミックに取扱わなければならない。

以上、統計的品質管理の一手法である管理図法が交通事故対策としての規制取締りの計画手法として有用であることを示すことができたが、実用に供するには上述のような解決しなければならない問題点がある。今後、コンピュータの利用を組み込んだより実的な管理システム策定を検討してゆく予定である。おわりに、この研究は北海道科学研究費(昭和54年)の助成を一部受けたこととデータは北海道開発局と北海道警察本部の協力を得たことを付して感謝します。なお、計算処理は北大大型計算機センターHITAC-M180と室工大情報処理教育センターMELCOM-COSM0700IIによって行った。

(参考文献)

1. 斎藤和夫, 交通安全問題解決の方法論と研究の課題に関する体系的考察, 交通工学Vol.13, 1978.1
2. 斎藤・加来照俊, 統計的方法による道路の事故危険度評価に関する研究, 土木学会論文報告集NO.284, 1979.4
3. R.Brenner 他2名, STATISTICAL ANALYSIS OF ACCIDENT DATA AS A BASIS FOR PLANNING SELECTIVE ENFORCEMENT, ITTE RESEARCH REPORT 1966(I), 1967(II)
4. 高 金地著, 統計的品質管理の基礎, 産業図書, 1961
5. 日科技連品質管理リサーチ・グループ編, 品質管理教程: 管理図法, 日科技連, 1962

表-3. 事故管理図数値表

week	Section 1-1				Section 2-1			
	Y_i	m_i	UWL	UAL	Y_i	m_i	UWL	UAL
39	5	8.0	13.7	16.5	4	7.3	12.6	15.3
40	16	7.3	12.6	15.3 ※※	9	6.0	10.9	13.4
41	6	8.3	14.0	16.9	6	6.5	11.6	14.2
42	8	7.8	13.3	16.1	6	6.3	11.3	13.8
43	4	8.8	14.7	17.6	4	6.3	11.3	13.8
44	3	8.5	14.3	17.3	8	6.3	11.3	13.8
45	4	5.3	9.8	12.1	9	6.0	10.9	13.4
46	16	4.8	9.1	11.3 ※※	4	6.8	12.0	14.5
47	7	6.8	12.0	14.5	1	6.3	11.3	13.8
48	7	7.5	13.0	15.7	3	5.5	10.2	12.5
49	10	8.5	14.3	17.3	5	4.3	8.4	10.4
50	21	10.0	16.3	19.5 ※※	5	3.3	6.9	8.7
51	20	11.3	18.0	21.3 ※	8	3.5	7.2	9.1 ※

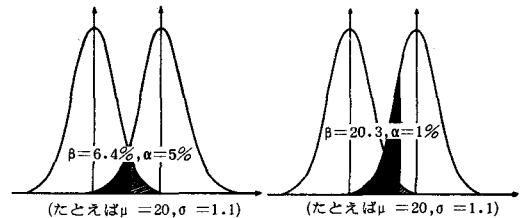


図-8. 2種類の過誤の確率の関係

表-4. β エラーの値

λ	$\alpha = 0.01$		$\alpha = 0.05$	
	$k=50$	$k=100$	$k=50$	$k=100$
1	0.96	0.91	0.87	0.76
10	0.80	0.35	0.57	0.16
20	0.58	0.085	0.34	0.02
50	0.19	0.001	0.063	0.001

K : 平均 λ の増加率(%)

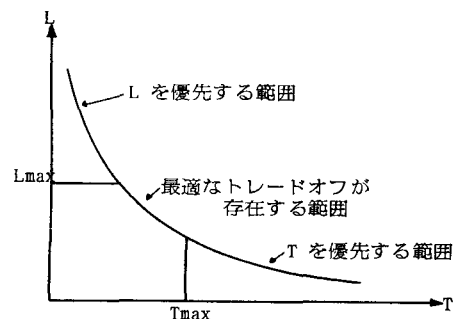


図-9. 統計区間長と期間長のトレードオフの概念図