

国立公衆衛生院 田中 勝
 国立公害研究所 中杉修身
 厚生省 池田 修
 エックス都市研究所 大野正人
 同 上 伊藤和夫

1. はじめに

廃棄物の発生地点から処理場までの距離が遠くなるに従って、収集・輸送効率の低下をもたらす。即ち1台当たりの収集量の減少→増車→増員→収集コスト及び輸送コストの上昇→事業経営への圧迫といった現象を導く。清掃事業費のうち、収集・輸送部門が7-8割を占める現状においては、とりわけその影響は大きいものといえる。また、苦しい事業予算の制約下においては他の部門でのサービスの低下をもたらす可能性もある。このような影響を緩和する方策として、おおむね3つの方向が考えられる。1つは、収集サービスの低下の合意を得ること、2つめは、収集・輸送に係る人件費等を削減すること、3つめは、収集・輸送処理の技術システムを効率化することである。しかし、現在の社会条件下では、現状のサービス、人件費水準等は維持目標とされるものであるから、技術システムの効率化による以外に解決策はないといえる。

収集・輸送処理システムの効率化とは、全体システムにおいて環境保全目標を達成させつつ、最も資源利用の仕方が効率的であることを指す。この効率化方策を考える場合、全体システムとしてトータルに捉える必要があるが、ここでは収集・輸送システムに的を絞って述べることにしたい。

収集・輸送システムは、字義どおり2つの機能（収集と輸送）を合わせたシステムである。一般に収集車がこの2つの機能を一体的に有しているが、収集・輸送システムの効率化が問われることは、この機能の一体化が矛盾として顕在化していることを示しているのに他ならない。この矛盾を解決する方向としては、収集の機能自体を効率化する方向、輸送自体を効率化する方向、収集と輸送とを各々同時に効率化する方向が考えられる。収集と輸送の

機能の特性をみると、収集は収集エリアの地域条件に大きな変化がないため安定の系であるが、輸送は処理場の位置等の外部条件の変化に左右される。このような特性を考えると安定の系はそれ自体として完結させ、可変的な系は常に状況変化に対応できるようにしておくことがシステムとして最も望ましい状態であるといえる。

収集の効率化	・収集機材の改善 ・ルートの改善
輸送の効率化	・輸送機材の改善
収集・輸送の効率化	・収集と輸送の分離としての中継基地（積み替え）

る。即ち、収集と輸送との機能の明確な分離である。この分離は、中継基地の設置により可能となる。そこで、中継基地導入による輸送（以下「中継輸送」とする。）の実態、中継輸送の計画的推進の方向、及び中継輸送の導入に係る意思決定に際して最も重要なウエイトを占める輸送効率の検討手法についての検討を行った。

2. 中継輸送導入の現状とその導入の背景

一般に中継輸送とは、廃棄物を中間処理施設、あるいは最終処分場に輸送する場合において、その輸送の効率化を図るために途中で別の輸送機材に積み替えて輸送することを指し、その際に必要な施設を

設置している場所を中継基地という。このような見地に基づく、焼却施設や破碎施設等の中間処理施設自体も中継基地と考えられるが、ここでは、焼却施設については検討範囲に含めないこととする。

また、中継方式については中継基地の形態と輸送方法によって規定される。中継基地の形態は単なる積替基地と中間処理施設に大別され、輸送方法については車両輸送、鉄道輸送、船舶輸送、管路輸送が挙げられる。図1に中継輸送の形態を示した。このように中継輸送については様々な形態が考えられる。

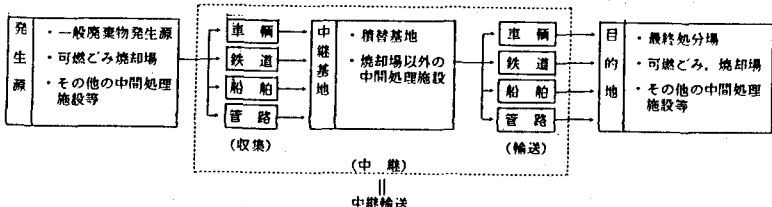
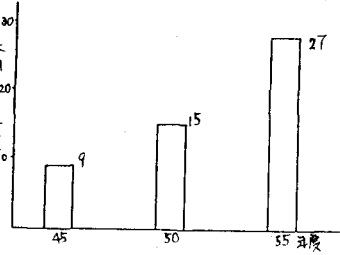


図1 中継輸送の形態

我が国においては、車両輸送の他に一部で船舶輸送、管路輸送も実施されているが、ここでは車両収集中継基地—車両輸送についてのみ検討した。したがって、本小論における中継輸送とは、車両によって収集した廃棄物を、中継のみを目的とした積替基地または破碎選別施設において別の車両に積替えて輸送するシステムを指すこととする。



注) 破碎施設は含んでいない。
図2 <「廃棄物の収集・輸送システム調査」厚生省、昭和58年による>
中継輸送採用自治体の年変化

破碎選別施設は、全国各地の自治体において数多く設置されており、昭和57年度には350以上の自治体で設置されている。一方、中継のみを目的とした中継基地を設置している自治体は昭和55年度時点で27か所あり、図2に示すように年を追うごとに増加していることがわかる。また、中継輸送の対象となっている廃棄物は、不燃物である場合が圧倒的に多い。

特に中継のみを目的とした中継基地の実施例を東京都、横浜市、名古屋市、京都市、京都市南衛生組合を対象にして調査した結果のうち、中継基地の概要を表1に示す。

表1 中継方式別施設内容

	平 面 式					コンパクター・コンテナ式									
	戸	理	神	川	新	明	台	見	港	北	西	三	國	島	子
能力	120	150	170	250	180	10	100	170	230	200	450				
ごみ受入れ設備	-	-	-	-	-	-	投入ホッパ 7.9m ² ×2	投入ホッパ 8.8m ² ×2	投入ホッパ 8.8m ² ×2	投入ホッパ 8.8m ² ×2	投入ホッパ 8.8m ² ×2	3台分 18m ² ×1			
貯留施設	-	-	-	-	-	-	ロータリ ードラム 29.6m ² ×2	-	-	-	-	-	-	-	-
能力	-	-	-	-	-	-	120m ² / h × 2	125m ² / h × 2	50t/h × 1	27t/h × 2	96t/h × 2	32t/h			
圧縮機	-	-	-	-	-	-	2台	2台	1台	2台	2台	1基			
圧縮比	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.5:1	2.7:1	2:1			
特殊コンテナ	-	-	-	-	-	-	14m×14	18m×22	-	20m	17m×16	17m×9			
積替機材	シャベル ローダー 3台	シャベル ローダー 3台	シャベル ローダー 3台	シャベル ローダー 3台	シャベル ローダー 3台	シャベル ローダー 3台	投入ホッパ ×2 リフト クレーン 3台	-	-	-	-	-	-	-	-
輸送設備	無蓋式 ダンプ 10台	無蓋式 ダンプ 9台	無蓋式 ダンプ 14台	無蓋式 ダンプ 21台	無蓋式 ダンプ 21台	無蓋式 ダンプ 21台	コンテナ 輸送車 7台	コンテナ 輸送車 9台	コンテナ 輸送車 6台	コンテナ 輸送車 19台	コンテナ 輸送車 19台	コンテナ 輸送車 19台			

東京都で現在稼働している中継基地は、平面式が1か所でコンテナ積替式が3か所となっている。コンパクター・コンテナ式は、計画中の2か所の中継基地で採用されることとなっている。横浜市における中継基地は平面式が4か所、ピットアンドクレーン式、コンパクター・コンテナ式が各1か所となっている。また、名古屋市、京都市、京都市南衛生組合における中継

となっている。中継基地導入の背景をみると様々であるが、そのことは中継基地に多様な機能が求められているとを示すものである。可燃ごみの場合、焼却工場の整備に伴い輸送距離が長くなることによる輸送効率の低下に対処することを基本的な目的としているが、その場合でも既存の収集輸送体制を改善することによる輸送の効率化を目的としているよりも、既存の収集

- (1) 輸送効率
 - 輸送効率の低下に対する対処
 - 効率の収集体制の維持
- (2) 焼却処理体制と収集体制の整合
 - オーバーホール時の対策
- (3) 公害対策
 - 焼却場、処分場への車両台数の削減
- (4) 付加的目的
 - 減容化
 - 有価物回収
 - 処分の受入基準への適合

体制を崩さないことに、より大きな比重を置いていると考えられる。一方、不燃ごみの場合、収集したものをそのまま埋立処分する方式では、最終処分場位置の遠隔化に伴う輸送効率の低下に対処することが主目的となっている。破砕式では有価物の回収やごみの減容化、処分場の受入基準への対応といった点が主目的になっており、輸送効率向上は必ずしも前面の目的には現われていない。以上のような観点から中継輸送の目的を上図のように整理することができる。

(1) 収集計画との整合：収集形態（混合収集、分別収集）、資源化との係わりにおける分別形態等の将来計画によって中継輸送対象ごみの質量が異なってくる。

(2) 焼却場の整備計画との整合（可燃ごみ、混合ごみの場合）：焼却場の整備計画に基づく旧工場の停止、新工場での稼働等による収集輸送体制の変更の必要より、中継基地の規模、位置の選定に係る条件が異なってくる。

(3) 処分計画との整合：処分計画に定める処分場の受入基準や埋立期間との係わりによる中間処理（資源化）への要請により、中継方式、中継基地の規模の選定に係る条件が異なってくる。（例えば破碎したものを受入基準としてくる場合は不燃物は破碎式となる。）

(4) 粗大ごみ等の処理計画との整合：
市町村収集の粗大ごみ、民間の持ちこみ粗大ごみ、不燃物への対応の仕方により、中継方式、中継基地の規模の選定に係る条件が異なってくる。（例えば(3)での受入基準が破碎を条件としている場合、粗大ごみや民間の持ち込み粗大ごみの破碎処理が必要となる。）上位計画との整合をとった後の中継送導入の基本的計画手順のフロー図示すと図3のようになる。図の左側フローは事業実施主体に関わる部分右側は地元住民に関わる部分である。

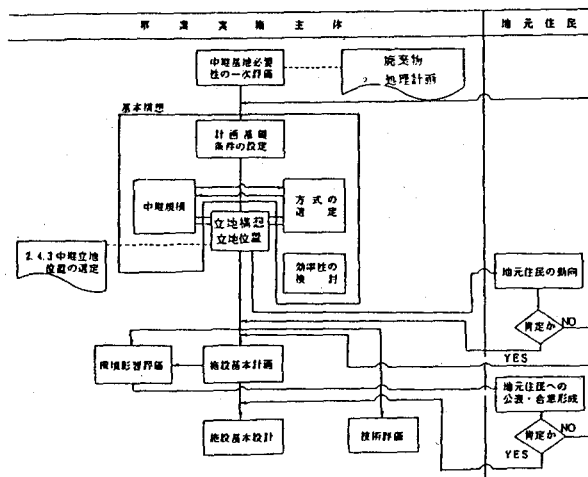


図3 中継輸送導入の基本的計画手順

中継基地計画は、基本構想、立地構想、施設基本計画、環境影響評価、施設基本設計によって構成される。基本構想は、収集方式、計画処理量、対象ごみ範囲、資源化方針、中継規模、処理場の長期スケ

ジュール等の中継基地の計画を策定する上での基本条件の設定と中継方式の比較検討、中継輸送の効果分析を踏まえた中継方式の選定を主内容としている。

中継基地の立地構想は、中継基地用地適地の選定とその比較検討（中継輸送効果分析のフィードバックを含む）を踏まえた建設予定地の選定を主内容とする。また、施設基本計画は、以上の構想において前提または設定された点を施設設計上の基本条件として、中継方式、系列、施設配置、二次公害対策、制御システム等の検討を内容としている。

次に、立地構想及び施設基本計画を受けて、施設建設に対する環境影響評価と基本計画を受けた施設の土木・建築・設備等の設計を行う基本設計と続き、この段階で中継基地計画の策定の一応の終了となる。この後は、仮に破碎施設を中継方式として選定した場合には都市計画法における都市施設として、都市計画決定、また、その決定を踏まえた「ごみ処理施設整備計画書」の作成を行い、認可申請書が受理された後に着工に移される。一方、破碎式以外の方法をとった場合には都市施設の範ちゅうに入らないため、以上の課程は省略されることとなる。以上より、中継基地計画の基本構成の主内容を整理すると次表のとおりとなる。

計画上のポイントとなる意思決定ステージは、中継基地規模の設定、中継方式の選定、中継基地位置の選定及び中継輸送の効果分析である。(1)中継基地の規模は、収集・輸送体系において収集と輸送の分離が必要と考えられる廃棄物エリアの発生量によって、一時的に与えられるものといえる。しかし、収集車の往復の回数、規模のメリット、用地条件、周辺住民との合意条件、輸送効率性、また、共同化して行う場合は関連市町村間での合意条件によって変更の可能性があり、最終的にはそれらの条件を総合的に検討して決められるものといえる。(2)中継方式の選定にあたっては、輸送効率性の評価が大きなウエイトを占めると考えられるが、その他様々の視点より多面的に評価を行った上で総合的に評価されるべきものである。評価要因として、収集体系との整合、長期計画との整合、経済性、機能性・安定性、弾力性または代替性、安全性、維持管理負担、空間占有、環境保全等が挙げられる。(3)中継方式の位置は、輸送効率性を考慮しつつ周辺住民との合意が行われるようなところを選択する必要がある。特に①可能な限り住民との合意形勢を必要と、清掃事業関連用地。②それが難しい場合には、可能な限り工業的工地利用地域を、また市街化区域外の用地。③発生地域から処理場に向う方角に位置したところ。④車両の搬出入路条件の良いところが望まれる。

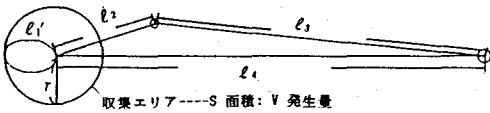
4. 収集輸送効率化試算モデル

収集輸送問題の数理解析を行った事例はいくつか散見されるところであるが、実際の清掃事業に適用する場合に一般に使い難いものが多い。その原因のひとつは、数理学的興味から発した解析になっているため、現実からかい離してしまうことがおもうに多いこと、今ひとつは、清掃事業自体におい

表2 中継輸送導入計画の基本構成の内容

		項 目
基 本 構 想	基本的計画 事項	計画区域 計画目標年度 対象廃棄物の範囲
	基本条件	計画処理量、計画人口 収集方式 収集量 減化方針 処理施設の長期スケジュール 中継・規模 稼働条件
	中継方式の 選 定	中継方式代替案の設定 中継方式の定性的検討 中継輸送の効果分析 中継方式の評価と選定
立地構想	立地の選定	建設用地代替案の設定 代替案の定性的検討 代替案の評価と選定
設 備 基 本 計 画	計画条件	計画目標 中継方式
	施設計画	施設配置 施設フローシート（施設内容） 二次公害対策 制御回収
環 境 影 響 評 価		影響の予測 影響の評価 環境保全対策
基 本 設 計		システム代替案の技術評価 地形、地台条件 土木設計 建築設計 設備設計

て与えられる制約条件が多く、数理解析をする必要性がない場合が多いことなどが考えられよう。一般的には設定された条件下での検討が行われており、その場合費用の積算は積上げ方式によって行っている。収集・輸送の効率化の検討は、そうした積上げ方式を基本として行い、その上で簡単化することが望ましい。積上げ方式によるコスト算定式を求めるに当たり、次のような発生点、中継基地、処理場の位置関係のモデルを設定した。これを用いて各コストの算定式を求めると以下になり、またパラメータは表3に示すとおりである。



$$\text{収集コスト } C_1 = \underbrace{\alpha_1(B_1 + n_1)}_{\text{人件費}} + \underbrace{\mu_1 \cdot W_1 \cdot n_1}_{\text{車輛価却費}} + \underbrace{(\ell_1' \cdot r_1' + L_1 \cdot r_1) \cdot m_1 \cdot n_1 \cdot T}_{\text{車輛燃料費}} + \underbrace{\delta_1 \cdot \mu_1 \cdot W_1 \cdot n_1}_{\text{車輛維持費}} \dots (1)$$

$$\text{中継コスト } C_2 = \underbrace{\alpha_2 \cdot B_2}_{\text{人件費}} + \underbrace{\mu_{2-1} \cdot W_{2-1} \cdot (a)}_{\text{土木建設物 価却費}} + \underbrace{\mu_{2-2} \cdot W_{2-2} \cdot (a)}_{\text{設備・機械 価却費}} + \underbrace{\mu_{2-3} \cdot W_{2-3} \cdot (a)}_{\text{中継機材 価却費}} + \underbrace{\delta_{2-1} \cdot W_{2-1} + \delta_{2-2} \cdot W_{2-2}}_{\text{土木建設物 維持費}} + \underbrace{\delta_{2-3} \cdot W_{2-3}}_{\text{設備機械 維持費}} \dots$$

$$\underbrace{\delta_{2-3} \cdot W_{2-3}}_{\text{中継機材 維持費}} + \underbrace{M}_{\text{その他 維持費}} - \underbrace{(B)}_{\text{資源 回收益}} \dots (2)$$

$$\text{輸送コスト } C_3 = \underbrace{\alpha_3 \cdot n_3}_{\text{人件費}} + \underbrace{\mu_3 \cdot W_3 \cdot n_3}_{\text{車輛価却費}} + \underbrace{L_3 \cdot r_3 \cdot T \cdot m_3 \cdot n_3}_{\text{車輛燃料費}} + \underbrace{\delta_3 \cdot \mu_3 \cdot W_3 \cdot n_3}_{\text{車輛維持費}} + \underbrace{\mu_3 \cdot K \cdot W_3'}_{\text{コンテナ価却費}} \dots (3)$$

$$\text{直送コスト } C_4 = \underbrace{\alpha_4(B_4 + n_4)}_{\text{人件費}} + \underbrace{\mu_4 \cdot W_4 \cdot n_4}_{\text{車輛価却費}} + \underbrace{(\ell_4' \cdot r_4' + L_4 \cdot r_4) \cdot m_4 \cdot n_4 \cdot T}_{\text{車輛燃料費}} + \underbrace{\delta_4 \cdot \mu_4 \cdot W_4 \cdot n_4}_{\text{車輛維持費}} \dots (4)$$

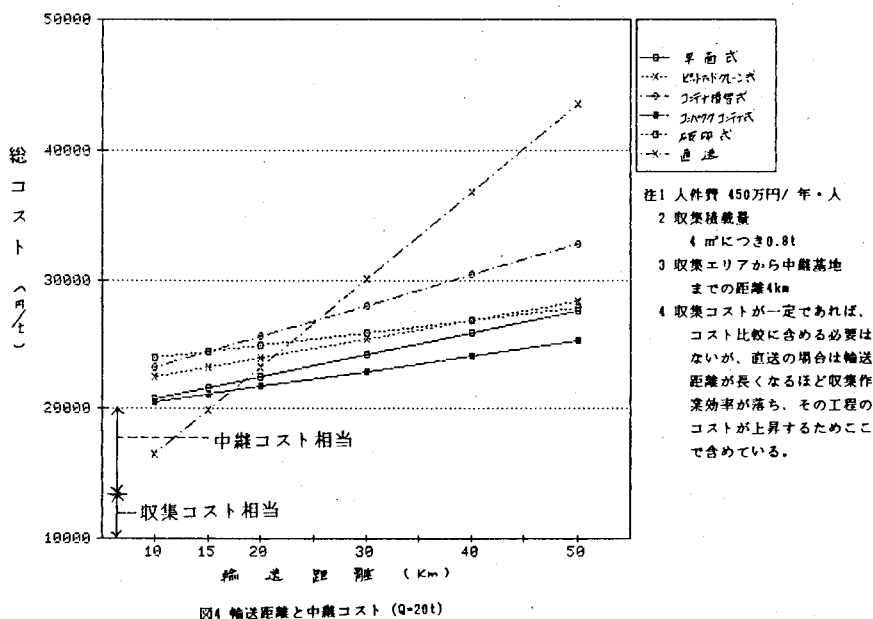
表3 コスト算定式におけるパラメーター一覧

項目	収集コスト C ₁	中継コスト C ₂	輸送コスト C ₃	直送コスト C ₄	備 考
人件費(万円/人/年)	α ₁	α ₂	α ₃	α ₄	
必要人員(人)	β ₁	β ₂	β ₃	β ₄ = β ₁	β ₁ , β ₂ , β ₃ は運転手以外の要員
必要車輛台数(台)	n ₁	n ₂	n ₃	n ₄	
往復可能台数(回)	m ₁	m ₂	m ₃	m ₄	
減価償却率	μ ₁	μ ₂₋₁ 土木・建物 μ ₂₋₂ 設備・機械 μ ₂₋₃ 中継機材	μ ₃	μ ₄	μ ₁ , μ ₂₋₁ , μ ₂₋₂ , μ ₂₋₃ ……車輛 μ ₃ , μ ₄ ……施設
車輛購入費(万円)	W ₁	W ₂₋₁ 土木・建物 W ₂₋₂ 設備・機械 W ₂₋₃ 中継機材	W ₃ W _{3'} コンテナ	W ₄	W ₁ , W ₂ , W ₃ ……車輛 W ₂₋₁ , W ₂₋₂ , W ₂₋₃ 施設 W ₄ = W ₁
施設建設費(万円)					
平均輸送距離(km)	L ₁ (=2√2ℓ ₁)		L ₃ (=2√2ℓ ₃)	L ₄ (=2√2ℓ ₄)	モデルを用いる
平均収集距離(km)	ℓ ₁ '			ℓ ₄ '	ℓ ₁ ' = ℓ ₄ '
輸送燃料費率(万円/km)	r ₁		r ₃	r ₄	
収集燃料費率(万円/km)	r ₁ '			r ₄ '	r ₁ ' = r ₄ '
車輛維持費率	δ ₁		δ ₃	δ ₄	
中継施設維持費率		δ ₂₋₁ 土木・建物 δ ₂₋₂ 設備・機械 δ ₂₋₃ 中継機材			1-残存率 耐用年数
稼働日数(日)	T		T	T	
補助費率		α			
コンテナ数(台)			K		
その他維持費(万円)		M			
資源回收(万円)		B			

注) 輸送距離L₁, L₃, L₄は実際の道路等より決定するのが良いが、直線距離を√2倍して代用しても大きな差はないと思われる。
またL₁に関しては、中継地がモデルのエリア内にはいる場合は、L₁=2√2r(エリアの半径)と

中継輸送の導入効果（経済性）は、中継輸送のコストが収集処理場まで直送する場合のコストより下回れば、導入効果があると評価されることになる。そこで調査した各都市の実態を参考にしてパラメーターの数値等を設定して、試算した例を図4に示す。これによると、輸送距離が17km程で中継輸送の効果が生じることとなっている。ただし一定の条件下での試算であり、その他の条件が変わればかなり変わりうる。特に発生量規模、収集車積載量、人件費が変わると、交差点も異なってくる。しかし、中継輸送の場合、発生量規模は50t/日～200t/日で2000～3000円/t程度、収集車積載量が4m³車で0.4～1.2tでは6000円/t程度、人件費も100万円の差で5000円/t程度のオーダーで変化する。このように、条件によってコストも大きく異なってくることから、コスト試算を行う上では必要なデータを実績により把握することが重要といえる。また、清掃事業におけるコスト管理能力及びマネジメント能力の向上を図る意味でも、表3に示した項目についての情報管理が重要であろう。

なお、試算では、設定したモデルの収集車1台の往復回数 $m_1 = \frac{450}{50 \sqrt{\frac{Q}{4}} + 16 \ell_1}$ 、1日の必要車両台数 $n_1 = \frac{50 \sqrt{\frac{Q}{4}} + 16 Q \ell_1}{450 V}$ 、一日1台の平均収集距離 $\ell_1 = 3.3 \times \sqrt{\frac{20V}{Q}}$ 、中継基地までの平均往復輸送距離 $L_1 = \frac{2}{\sqrt{2}} \ell_1$ と与えて行った。



5. おわりに

今後、処理上の位置が遠隔化するにしたがって収集輸送の効率化問題が重要性を増してくるものと予想されるが、その導入の意思決定に当たっては計画的な推進が望まれよう。本研究では、中継輸送の実態を正確に把握すること、その計画の立て方及びコスト試算の方法の基礎がためを行い、現場の清掃事業を担われている方々の実務に役立てられるものにすることに目標を置いた。これらの結果をベースにOR的手法による解析も可能であるが今後の課題とした。また、破砕式の場合、減量化による処分コストの軽減効果まで含めた検討が必要であることを付記しておく。

なお、本研究は、厚生省が昭和58年度に実施した調査研究課題「輸送効率向上検討調査」の成果の一部を私見をまじえつつとりまとめたものである。なお、調査に協力いただいた検討委員会の委員の方々、及び名古屋市、京都市、京都府城南衛生組合の方々に感謝の意を表したい。