

資 料

- ◆燃費法、従来トンキロ法、改良トンキロ法による二酸化炭素排出量の差について
- ◆算出式の違いによる二酸化炭素排出量算定結果の差について

燃費法、従来トンキロ法、改良トンキロ法による二酸化炭素排出量の差について

モデルケースの設定

- ・ 輸送重量：10 トン
- ・ 輸送距離：100km
- ・ 輸送手段¹：10 トントラック/営業用普通貨物車
- ・ 積載効率²：100%、50%、10%

燃費法で二酸化炭素排出量を算出

$$\text{二酸化炭素排出量 (kg-CO}_2\text{)} = \text{距離 (km)} / \text{燃費 (km/ℓ)} \times \text{排出係数 (kg-CO}_2\text{/ℓ)} \dots$$

1) 積載効率 100%の場合

式における燃費については、(社)プラスチック処理促進協会が公表している10トントラック(軽油)の燃費(3.5km/ℓ)を使用して、算出する。

式より

$$\text{二酸化炭素排出量} = \{100 \text{ (km)} / 3.5 \text{ (km/ℓ)}\} \times 2.62 \text{ (kg-CO}_2\text{/ℓ)}^3 = \underline{74.9 \text{ (kg-CO}_2\text{)}}$$

2) 積載効率 50%の場合

10トンの荷物を運ぶためには10トントラックが2台必要になることから、二酸化炭素排出量は1)のケースの2倍になる。よって、

$$\text{二酸化炭素排出量} = 74.9 \times 2 = \underline{150 \text{ (kg-CO}_2\text{)}}$$

3) 積載効率 10%の場合

10トンの荷物を運ぶためには10トントラックが10台必要になることから、二酸化炭素排出量は1)のケースの10倍になる。よって、

$$\text{二酸化炭素排出量} = 74.9 \times 10 = \underline{749 \text{ (kg-CO}_2\text{)}}$$

従来トンキロ法で二酸化炭素排出量を算出

$$\text{二酸化炭素排出量 (kg-CO}_2\text{)} = \text{輸送トンキロ (t・km)} \times \text{二酸化炭素排出原単位 (kg-CO}_2\text{/t・km)} \dots$$

1) 積載効率 100%の場合

10トントラック1台で、10トンの荷物を100km輸送することになる。式により

$$\text{二酸化炭素排出量 (kg-CO}_2\text{)} = (10 \times 100) \text{ (t・km)} \times 0.178 \text{ (kg-CO}_2\text{/t・km)}^4 = \underline{178 \text{ (kg-CO}_2\text{)}}$$

2) 積載効率 50%の場合

10トントラック2台で、各々、5トンの荷物を100km輸送することになる。式により

$$\text{二酸化炭素排出量 (kg-CO}_2\text{)} = (5 \times 100) \text{ (t・km)} \times 0.178 \text{ (kg-CO}_2\text{/t・km)} \times 2 = \underline{178 \text{ (kg-CO}_2\text{)}}$$

3) 積載効率 10%の場合

10トントラック10台で、各々、1トンの荷物を100km輸送することになる。式により

$$\text{二酸化炭素排出量 (kg-CO}_2\text{)} = (1 \times 100) \text{ (t・km)} \times 0.178 \text{ (kg-CO}_2\text{/t・km)} \times 10 = \underline{178 \text{ (kg-CO}_2\text{)}}$$

以上の例からも明らかなように、トンキロ法の場合、二酸化炭素排出量は積載効率に依存しない⁵。

註1) (社)プラスチック処理促進協会の燃費の車種区分と、国土交通省の排出原単位の車種区分では、トラックの呼称が異なっているが、ここでは、前者の10トントラックと後者の営業用普通貨物車は同じものと見なした。

註2) (実輸送トンキロ/輸送可能トンキロ) × 100 (%)

註3) 『2003年度 環境調和型ロジスティクス調査報告書』(2004年3月 JILS) 図表3-11(p86) 環境省

註4) 『2003年度 環境調和型ロジスティクス調査報告書』(2004年3月 JILS) 図表3-14(p88) 国土交通省

註5) 積載効率については排出原単位算出の前提条件になっていると思われるが、これに関する情報は公開されていない。

改良トンキロ法で二酸化炭素排出量を算出

$$\text{二酸化炭素排出量 (kg-CO}_2\text{)} = \text{輸送トンキロ (t}\cdot\text{km)} \times \text{二酸化炭素排出原単位 (kg-CO}_2\text{/t}\cdot\text{km)}^6 \dots$$

1) 積載効率 100%の場合

式に上で設定した値を代入すると

$$\text{二酸化炭素排出量 (kg-CO}_2\text{)} = 1,000 \text{ (t}\cdot\text{km)} \times 0.1169 \text{ (kg-CO}_2\text{/t}\cdot\text{km)}^7 = \underline{116.9 \text{ (kg-CO}_2\text{)}}$$

2) 積載効率 50%の場合

式に上で設定した値を代入すると

$$\text{二酸化炭素排出量 (kg-CO}_2\text{)} = 1,000 \text{ (t}\cdot\text{km)} \times 0.1574 \text{ (kg-CO}_2\text{/t}\cdot\text{km)}^8 = \underline{157.4 \text{ (kg-CO}_2\text{)}}$$

3) 積載効率 10%の場合

式に上で設定した値を代入すると

$$\text{二酸化炭素排出量 (kg-CO}_2\text{)} = 1,000 \text{ (t}\cdot\text{km)} \times 0.5246 \text{ (kg-CO}_2\text{/t}\cdot\text{km)}^9 = \underline{524.6 \text{ (kg-CO}_2\text{)}}$$

まとめ

3つの算定方法で算出した二酸化炭素排出量を表にまとめると次のとおり。

表 3つの算定手法による二酸化炭素排出量の比較

単位：kg-CO₂

積載効率 算定手法	10%	50%	100%
燃費法	749	150	74.9
従来トンキロ法	178	178	178
改良トンキロ法	524.6	157.4	116.9

さらに、算出ポイントを増やして、3つの算出手法による、積載効率と二酸化炭素排出量の関係をグラフ化したものを36ページの図に示す。

改良トンキロ法については、註6に記したように、積載効率は幅のある値として示されているが、ここでは中央値を取り、グラフにプロット、各点を曲線もしくは近似曲線で結んだ。

註6) 改良トンキロ法では積載効率によって二酸化炭素排出原単位(kg-CO₂/t・km)の値が異なる。ただし、積載効率は幅のある値(例 ~20%以下、40~60%など)で示されている。

註7) 積載効率80%超~の値。ただし、原典の単位はグラム表示(以下同)。

註8) 積載効率40~60%の値。

註9) 積載効率~20%以下の値。

考 察

従来トンキロ法は積載効率に関わらず、輸送トンキロを決めると二酸化炭素排出量が一定量に決まってしまう。

従来トンキロ法の二酸化炭素排出原単位 ($0.178\text{kg-CO}_2/\text{t}\cdot\text{km}$) の前提になっていると推定される積載効率の値は、約 40% + 存在すると思われる (従来トンキロ法の直線と燃費法の曲線の交点の X 座標から推定)。

したがって、従来トンキロ法のこのデフォルト値 ($0.178\text{kg-CO}_2/\text{t}\cdot\text{km}$) を使ったの算定は、
で推定した積載効率より低い数字で (しかも低ければ低いほど!) 業務を行っている輸送企業/荷主にとっては“得”になるし、これより高い数字で (しかも高ければ高いほど!) 業務を行っている輸送企業/荷主にとっては“損”になる (従来トンキロ法の直線と燃費法もしくは改良トンキロ法の曲線の乖離に注目されたい)。

積載効率を上げる努力が二酸化炭素の排出量に反映されない方法は、やはり、“不公平”だろう。

一方、今回のシミュレーションにおける燃費法の問題点は、積載効率に関わらず燃費を一定としたことである。

一般的には、積載効率が低い場合すなわちトラックの重量が軽い場合は燃費が向上、逆に積載効率が低い場合すなわちトラックの重量が重い場合は燃費が低下すると考えられる。

このため、燃費法の曲線は、積載効率が低い領域においてはより二酸化炭素排出量が減る方向にシフトし、逆に、積載効率が低い領域においてはより二酸化炭素排出量が増える方向にシフトするはずである。

燃費法の曲線と改良トンキロ法の曲線を比べると、改良トンキロ法の曲線は、で記した特徴を持っていることがわかる。

以 上

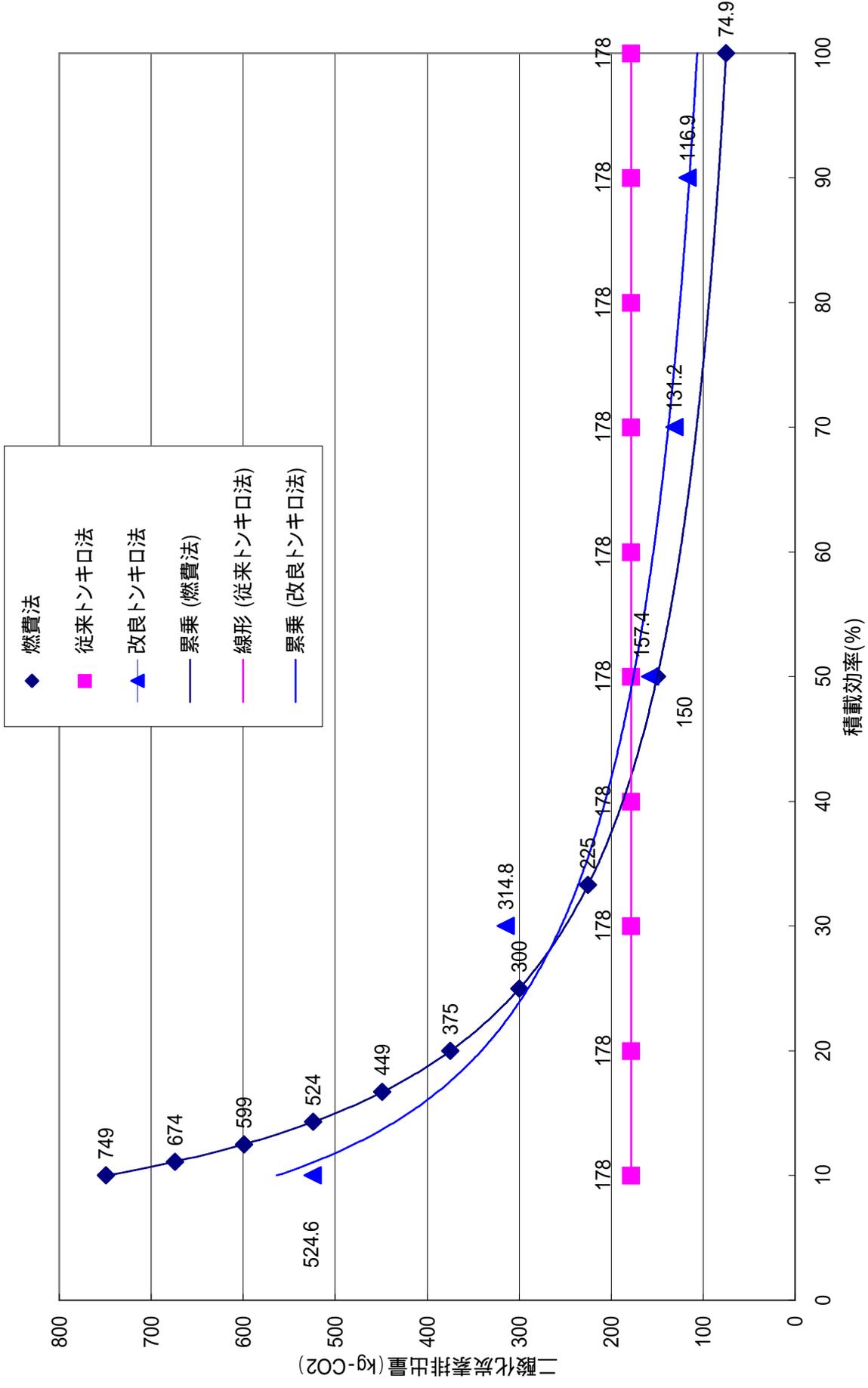


図 3つの算定式による算定結果の違い

算定式の違いによる二酸化炭素排出量算定結果の差について

1. 調査の目的とポイント

1) 目的

- ①環境パフォーマンス評価手法検討委員会では算定式の理論的な精度の高さを、**燃料法** > **燃費法** > **トンキロ法** と設定したが、このことを実際のデータで立証する¹⁾ こと。
- ②算定上の問題点を把握すること。

2) ポイント

- ①**3つの算定式**の違いによる**算定結果（算定値）の差異**はどの程度かを把握すること。
- ②データの性格（実測値/推定値、自社で取得/他社から入手）の違いに留意すること。
- ③各算定式の利用上の特徴を、実際の利用者の立場から、把握すること。
例えば・・・
 - ・データ入手の難易度は？（燃料使用量、燃費、輸送重量、輸送距離）
 - ・使い勝手の良し悪しは？（例えば、トンキロ法で用いられる「二酸化炭素排出原単位の区分」と物流現場での「車種区分」の整合性など）

2. 調査の構成・内容

予備調査と**本調査**の2段階調査を行った。

予備調査は、既往調査で二酸化炭素排出量の算定を行っていないと考えられた企業を対象にした。予備調査の結果、今後、二酸化炭素排出量の算定を行うことが可能と考えられた企業に対しては、本調査を行った。

本調査は、既往調査で二酸化炭素排出量の算定を行っていると考えられた企業を対象とした。

1) 予備調査

調査票⇒付録

2) 本調査

調査票⇒付録

調査票⇒付録

註1) 実際には、3つの方法の中で二酸化炭素排出量を最も正確に算定できると考えられる燃料法による算定値を基準として、燃費法の算定値とトンキロ法の算定値の誤差の大きさを比較した。

3. 予備調査結果

発送 52社 (CGLメンバー企業(111社 当時)の46.8%)

有効回答企業 12社 (有効回答率 23.1%)

荷主企業 7社 (58%)

物流子会社 4社 (33%)

物流事業者 1社 (8%)

算定事前説明会

第1回 9月21日(水) 13:30~15:00 2社

第2回 9月21日(水) 15:30~17:00 3社

算定事前説明会のご出席いただいた企業5社に対しては、後日、本調査票/表を発送した。

4. 本調査結果

1) 配布数・回収数

第1次発送 48社 (CGLメンバー企業(111社 当時)の43.2%)

有効回答企業 16社 (有効回答率 33.3%)

荷主企業 12社 (75%)

物流子会社 4社 (25%)

物流事業者 0社 (0%)

第2次発送 5社

有効回答企業 0社 (有効回答率 0%)

発送数計 53社

有効回答企業計 16社 (有効回答率 30.2%)

2) 算定結果

今回収集できた16社の43サンプルについて、理論的に算定精度が最も高いと考えられる燃料法による算定結果(算定値)を基準(=1.00)として、燃費法およびトンキロ法の算定結果を比率(誤差)で示したものを表1に示す。

(1) データの欠落があるサンプルについて

燃費法のデータ(燃費、輸送距離)が欠落しているサンプルが1つあった(1社1例)。このサンプルについては、3種類の算定式の算定結果を議論するデータとしては除外することとした。(ただし、燃料法とトンキロ法の2つを比較するサンプルとしては利用している)

上述のデータを除いた42例(15社)について3種類の算定式の算定結果(燃料法の算定結果を1.00とした場合の比率(誤差))は次のようになった。

算定式	燃料法	燃費法	トンキロ法
-----	-----	-----	-------

算定結果	1.00	0.981	23.0
------	------	-------	------

N = 42 (15社)

(2) 特異値について

表 1 から明らかなように、燃費法、トンキロ法ともども、誤差の大きなサンプルがある。

今回の分析にあたっては、燃費法、トンキロ法のそれぞれについて「特異値」を次のように定義して以降の分析を行った。

【燃費法の特異値】

2004 年度 LEMS 調査で収集したトラックの燃費データによれば、代表的なトラックと考えられる積載重量 4 トンの貨物自動車の最小燃費は 3.50km/l 、最大燃費は 7.60km/l 、また、積載重量 10 トンの貨物自動車の最小燃費は 2.44km/l 、最大燃費は 5.00km/l になっていたこと²⁾ から、最小値と最大値で概ね 2 倍の開きがあると考え、燃費法を基準 (=1.00) をした場合の燃費法による算定値の比率が 0.5 に満たないサンプルもしくは 2 を超えるサンプルを特異と見なした。

これにより特異値と認められたサンプルは 2 例、全体の 5%³⁾ であった。

なお、比率が 2 を超えるサンプルは無かった。

【トンキロ法の特異値】

以前行った燃費法とトンキロ法による算定値の違いを示した机上シミュレーション結果を拠り所に、燃費法を基準 (=1.00) をした場合のトンキロ法による算定値の比率が 10 を超えるサンプルを特異と見なした。

これにより特異値と認められたサンプルは 3 例、全体の 7%⁴⁾ であった。

なお、燃費法、トンキロ法双方の値が特異と認められたサンプルはなかった。

前述した燃費法データに欠落のあるサンプル 1 例および燃費法もしくはトンキロ法の算定値のいずれかに特異値を含むデータをもつサンプル 5 例の計 6 例を除いた 37 例(12 社)について 3 種類の算定式の算定結果(燃料法の算定結果を 1.00 とした場合の比率(誤差))は次のようになった。

算定式	燃料法	燃費法	トンキロ法
算定結果	1.00	0.986	2.39
N = 37 (12 社)			

(3) 燃料法の燃料使用量が推定値であったサンプルについて

本稿では燃料法の算定結果の精度が最も高いとしているが、燃料使用量のデータが推定値であるサンプルが 4 例(3 社)あった。

燃費法データに欠落のあるサンプル 1 例、燃費法もしくはトンキロ法の算定値のいずれかに特異値を含むデータをもつサンプル 5 例、さらに燃料使用量のデータが推定値であるサンプル 4 例の計 10 例を除いた 33 例(10 社)について 3 種類の算定式の算定結果(燃料法の算定結果を 1.00 とした場合の比率(誤差))は次のようになった。

註 2) 『2004 年度 環境調和型ロジスティクス調査報告書』(2005 年 3 月 J I L S) pp.164 -168

註 3) 燃費法のデータに欠落のあるサンプルを除く 42 例に対する割合

註 4) 燃費法のデータに欠落のあるサンプルを除く 42 例に対する割合

算定式	燃料法	燃費法	トンキロ法
算定結果	1.00	0.994	2.24
N = 33 (10 社)			

(4) 参考

以上では3つの算定式に対応する全てのデータが揃っているかまたは燃費法、トンキロ法双方の算定値に異常値を持たないサンプルを対象に議論したが、ここでは、燃料法と燃費法、また、燃料法とトンキロの2つに分けて数字を比較する。

【燃料法と燃費法】

燃費法のデータが無いサンプル(1社1例)および燃費法の算定値が特異値になったサンプル(1社2例)を除く40例(14社)について、燃料法の算定結果を1.00とした場合の燃費法の算定結果の比率(誤差)は次のようになった。

算定式	燃料法	燃費法
算定結果	1.00	0.992
N = 40 (14 社)		

【燃料法とトンキロ法】

トンキロ法の算定値が特異値になったサンプル(3社3例)を除く40例(13社)について、燃料法の算定結果を1.00とした場合のトンキロ法の算定結果の比率(誤差)は次のようになった。

算定式	燃料法	トンキロ法
算定結果	1.00	1.44
N = 40 (13 社)		

以上のことから、今回の調査の最大のねらいであった、3つの算定式の理論的な精度(燃費法 > 燃料法 > トンキロ法)を実際に確かめることができ、所期の目的は達成されたと言える。

3) 誤差に関する考察【その1】

算定精度に影響を及ぼす要因として、今回収集したデータ項目のうち、データの性格(実測値か推定値か)に着目して、簡単な考察を行った。

実測値を使った算定結果の方が推定値を使った算定結果よりも精度が高まると考えたためである。

(1) 燃費法の誤差について

燃費法の算定結果の誤差について、データ(燃料使用量(ℓ)および輸送距離(km))の取得方法の違い、すなわち実測法と推定法の違いにより分析した(表2)。

ここで、実測法とは、燃料使用量(ℓ)、輸送距離(km)の双方のデータとも実測値を使用しているサンプルを指している。実測法に属するサンプルは43サンプル中26サンプル(60%)であった。

また、推定法とは、燃料使用量(ℓ)、輸送距離(km)のいずれかもしくは双方のデータに推定値を使用しているサンプルを指している。推定法に属するサンプルは43サンプル中17サンプル(40%)であった。

全体的な傾向（サンプルの合計値で見た傾向）は、常識 実測法の誤差 < 推定法の誤差 と合うものとなった。したがって、燃費法の算定誤差を小さくするためには、燃費、輸送距離共々実測値を用いることが望ましいと言えるのであるが、ここでは以下の2点に注意を払う必要がある。

燃費を実測するとはすなわち輸送距離および（当該区間における）燃料使用量の2つを実測することである。これは燃料法を使えることに他ならないこと。

今回のデータ取得は前述したような極めて特殊な目的で行われた。このため、実際に日常的に行われる算定のためのデータ取得にあたっては、輸送距離および（当該区間における）燃料使用量の2つをわざわざ実測することは冗長であること（単に二酸化炭素排出量を求めるためなら燃料使用量のデータのみで必要十分）。

燃費法における実測法と推定法に係わる誤差については、次の事項を特記しておきたい。

燃費法の実測法による算定結果は、原理的には、燃料法の算定結果と一致するはずである（燃費法基準の比率 = 1.00）。ところが、1.00 から離れた値が散見されたこと。

の理由であるが、今回の算定は前提条件を揃えて行われているはずであるものの、比率が1.00より小さく出たサンプルについては、燃料法の算定において意図せずに回送区間の燃料使用量が含まれた結果となっていることが推定できる。燃費法であれば回送区間の距離を除いた実運送区間を使った算定が可能と考えられる一方、燃料法の算定では燃料使用量を輸送分と回送分に分けて計上することは難しいと考えられる。

一方、実測法、推定法ともども比率が1.00より大きく出たサンプルについては、例えば、これらのサンプルでは偶然に小さめの燃費が使われていたことなども想定できるが、真の理由はわからない。

算定結果を実測法と推定法で比較すると、実測法では燃料法より大きめ（1.00より大）に、推定法では燃料法より小さめ（1.00より小）になる傾向が表れた。

(2) トンキロ法の誤差について

トンキロ法の算定結果の誤差について、燃費法と同様に、データ（輸送重量(トン)および輸送距離(km)）の取得方法の違い、すなわち実測法と推定法の違いにより分析した（表3）。

ここで、実測法とは、輸送重量（トン）、輸送距離（km）の双方のデータとも実測値を使用しているサンプルを指している。実測法に属するサンプルは43例中16例（37%）であった。

また、推定法とは、輸送重量（トン）、輸送距離(km)のいずれかもしくは双方のデータに推定値を使用しているサンプルを指している。推定法に属するサンプルは43例中25例（58%）であった。なお、トンキロ法のデータ取得方法が不明のものが2例あった。

全体的な傾向（サンプルの合計値で見た傾向）であるが、先の燃費法とは異なり、常識 実測法の誤差 < 推定法の誤差 とは異なる結果となった。

原因についてはわからないが、次の事項を記しておきたい。

推定法の算定値の方が実績法の算定値よりもばらつきが大きい、合計値で見ると推定法の誤差の方が小さくなっていること。

先に定義した特異値は推定法のグループのみに存在すること（3例）。

4) 誤差に関する考察【その2】

算定精度に影響を及ぼす要因として、今回収集したデータ項目のうち「算定の期間」に着目して、燃費法、トンキロ法のそれぞれについて簡単な分析を行った。

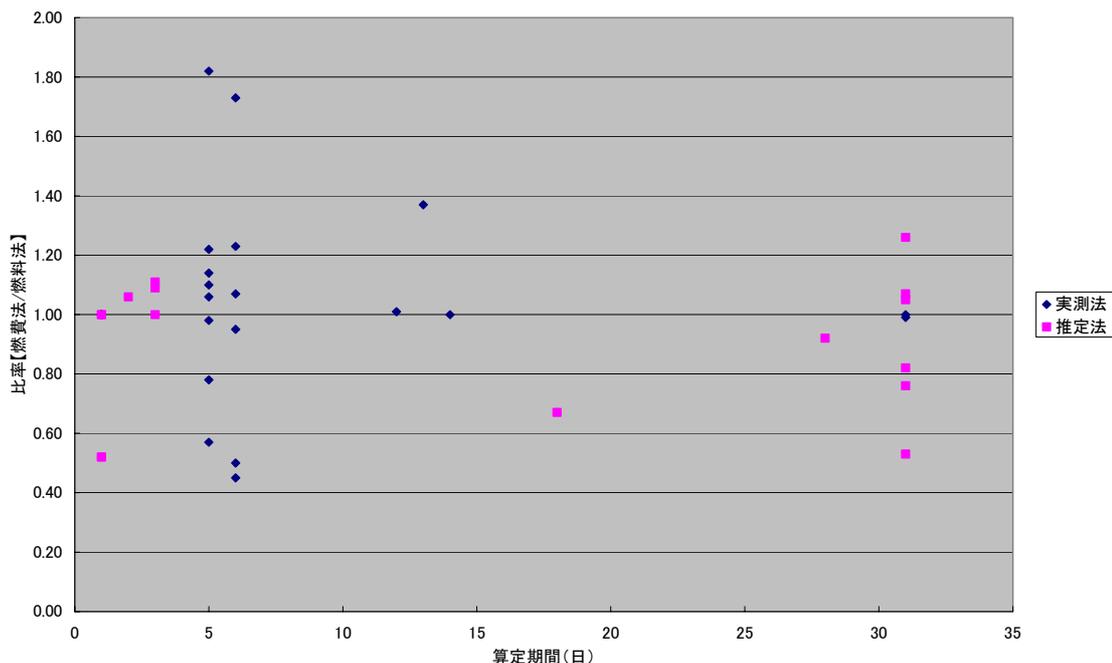
算定の期間が長くなれば長くなるほど、取得データが安定し、算定の精度が高まると考えたためである。

(1) 燃料法

横軸に算定期間（日）を、また、縦軸に比率（燃費法の算定値/燃料法の算定値）を取り、XY平面上に各サンプルをプロットした（**図1**）。

実測法のサンプルを◆、推定法のサンプルを■でプロットしている。全体で見ると何とも言えない分布をしているものの、実測法に限って見れば、算定期間が長くなるほど誤差の広がり（誤差なし=比率1からの乖離の幅）が小さくなるように見受けられなくもない（ただし、極めて数少ないサンプルなので、あくまでも“感じ”だが）。

図1 算定期間と算定精度【燃費法】

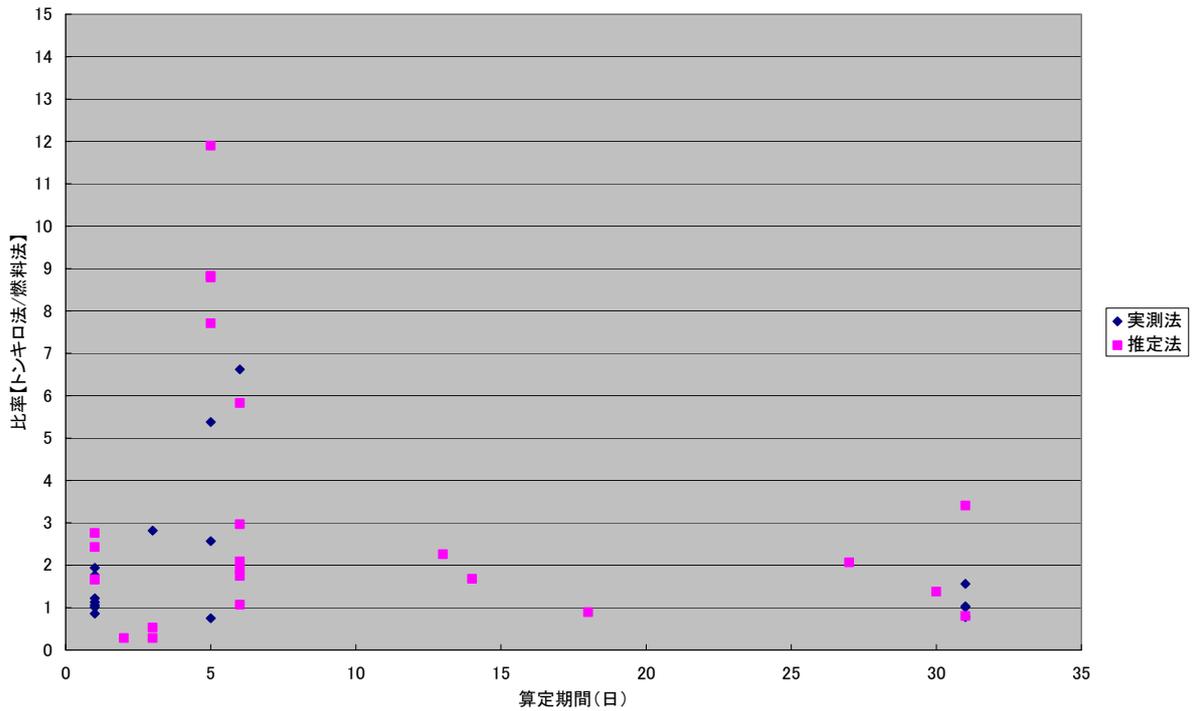


(2) トンキロ法

横軸に算定期間（日）を、また、縦軸に比率（トンキロ法の算定値/燃料法の算定値）を取り、XY平面上に各サンプルをプロットした（**図2**）。

実測法のサンプルを◆、推定法のサンプルを■でプロットしている。実測法、推定法共々算定期間と誤差の広がり（誤差なし=比率1からの乖離の幅）には関係が無いように見受けられる。

図2 算定期間と算定精度【トンキロ法】



5. まとめ

- ①算定値の精度からは、トンキロ法はお勧めできない（トンキロ法の誤差は概ね 200～300%）。
- ②燃費法の誤差はトンキロ法に比べてひと桁小さいが（燃費法の多数派と考えられる推定法の誤差は概ね 10～20%）、例えば京都議定書でわが国の国際的な公約になっている数値目標の 6%削減（1990 年比）を念頭に置いた場合、この精度では不十分。
- ③ちなみに、改正省エネ法で求められている削減目標は対前年比 1%である。この数値目標について意味のある議論をするのであれば、唯一耐えられるのは燃料法になるだろう。
- ④ここで補足的に燃料法の美点を挙げれば、燃費法や“改良”トンキロ法のように複数にわたる燃費の区分（4 トン車、10 トン車などなど）や原単位の区分（積載率 60%の 10 トン車、積載率 80%の 10 トン車などなど）に応じてデータを取得する必要が無く、燃種ごとの（とは言っても殆どが軽油だろう）燃料使用量のみを取得すれば良いことである。
- ⑤何のために算定するのか（算定結果をどう使うのか？）の議論を抜きに、純粋にトラックからの二酸化炭素排出量を精度良く求めるのであれば、
まず、
燃料使用者（輸送事業者）が燃料法で二酸化炭素排出量を求め、
次に、
上で求めた二酸化炭素排出量を燃料使用者（輸送事業者）と荷主の間、また、複数荷主間で按分することが望ましい。

ここで、按分ルールについては、

まず、

燃料使用量を相関の強いパラメータを探し出し（トンキロ？ 輸送重量？ 輸送距離？ …）〔数理的な側面〕

次に、

目標として定める按分ルール（例えば、輸送区間別トン按分）と現状で可能な按分ルール（例えば、月間トン按分）を検討し、これらに係わる関係者間の合意を形成することが必要であろう。〔社会的な側面〕

以 上