

2023 年度 統計データ分析コンペティション

統計数理賞 [大学生・一般の部]

CO₂ 排出特性と地域特性の関係 —2050 年カーボンニュートラルの実現に向けて—

宮部 美月・戴 士淵

(日本電子専門学校 AI システム科)

論文の概要

カーボンニュートラル社会に向けた取組が進む中、地域特性毎の CO₂ 排出量について、市区町村の CO₂ 排出特性に基づいた市区町村の類型化を行い様々な分析を行うことで、地域特性との相互関係や CO₂ 排出特性の規定要因を明らかにした。

論文審査会コメント

既存研究を踏まえ、研究テーマ・目的を明確に設定し、分析を行っているプロセスが評価される。分析結果をより丁寧に記述し、政策や CO₂ 削減につながる考察があれば、さらに良い内容になることが期待される。

CO₂ 排出特性と地域特性の関係 —2050 年カーボンニュートラルの実現に向けて—

宮部美月*¹・戴士淵*¹

*1: 日本電子専門学校 AI システム科

1. 研究のテーマと目的

2020 年 10 月に日本政府が「2050 年カーボンニュートラル」を宣言して以来、日本全体で脱炭素に向けた取組が急速に進んでいる。2020 年 12 月には国と地方公共団体が協働・共創する取組として「国・地方脱炭素実現会議」が設置され、2021 年 6 月に「地域脱炭素ロードマップ」が公開された。

「地域脱炭素ロードマップ」は、地域脱炭素の行程と具体策を述べたもので、「決意・コミットメントの脱炭素ドミノ」と「実行の脱炭素ドミノ」という 2 つの考え方を示している。前者は「2050 年ゼロカーボンシティ」の表明を指し、後者は前者を基に意欲と実現可能性の高い地域から脱炭素の取組を全国に広げることを指す。これを実現するためのモデルケースとして、既に全国 32 道府県 83 市町村が脱炭素先行地域に選定された。しかし、「実行の脱炭素ドミノ」を実現するためにはこれらの地域に加え、他の市区町村の地域特性ならびに CO₂ 排出特性を把握し、比較検討できる環境を整備することが必要である。

全国の自治体を対象とした地域脱炭素についての既往の研究は、特定の部門に着目したものと総合的なものに分けられる。前者の研究では松橋・石河 (2018) ⁽¹⁾が、家庭と乗用車から生じる市町村別 CO₂ 排出量の特徴を比較分析し、集合住宅居住割合等との関係を示した。後者の研究では中口 (2010) ⁽²⁾が、製造業、業務、家庭、運輸の 4 つの部門を含む CO₂ 排出特性から 14 の類型を作成して市区町村を分類し、気候条件や可住地人口密度などの地域特性との相互関係を明らかにした。ただし、建設業・鉱業や農林水産業からの排出や、廃棄物分野からの排出については考慮しておらず、各地域の CO₂ 排出特性も現在では変化していると推測される。

そこで本研究は、1) さまざまな地域特性毎に CO₂ 排出量を分析し、2) 市区町村の CO₂ 排出特性に基づいて市区町村の類型化を行うことで、地域特性との相互関係や CO₂ 排出特性の規定要因を明らかにすることを目的とする。

2. 研究の方法と手順

2.1 地域特性と CO₂ 排出量の関係の把握

まず、地域特性として、A. 気候条件、B. 土地利用特性（第一次分類）、C. 土地利用特性（第二次分類）、D. 可住地人口密度、E. 人口規模、F. 単独世帯比率を選定した。これらの地域特性別の 1 人あたり CO₂ 排出量の平均値を 6 部門 1 分野および総合計で算出し、排出量の大小を比較した。なお、C. 土地利用特性（第二次分類）については、農業地域の土地利用特性の調査を目的とし、対象を第一次分類で農業地域に分類された地域に限定した。

2.2 市区町村の類型化

次に、市区町村の類型化を行う。一般的にはクラスター分析等が用いられるが、中口 (2010) ⁽²⁾が指摘するように、部門別 CO₂ 排出量は不均衡な分布をしているためにクラスター分析では解釈しやすい結果が得られにくい。よって、修正ウィーバー法を選択した。

修正ウィーバー法とは、地理学でよく用いられる手法で、ある地域の統計的総量が部門別の同種数量に分けて示されているときに、その総量に対する百分比を用いて数量的に主要な部門を選び出し、それらの部門の組

合せをその地域の類型とする分析方法である。(土井, 1970)⁽³⁾具体的には, 以下の式で表される。(坂本, 1990)⁽⁴⁾

$$C = \min \left(\sum d_i^2 \right) = \min \left(\sum (X_i - \bar{X})^2 \right)$$

ただし, C: 類型化指数, d: 偏差, X_i : 構成要素 i の比率 (製造業, 建設業・鉱業, 農林水産業, 業務, 家庭, 運輸, 一般廃棄物の各排出量の合計排出量に占める割合), \bar{X} : 理論比率 (1 ÷ 構成要素数) である。

上記により, 2020 年の部門別 1 人あたり CO₂ 排出量を用いて市区町村を類型化し, 類型別市区町村数, 類型別脱炭素先行地域数, 1 人あたり CO₂ 排出量平均値を算出してその特徴を分析した。

2.3 CO₂ 排出特性の規定要因分析

本項目では, 前項までの結果を踏まえ, 1 人あたり CO₂ 排出量を目的変数, 6 つの地域特性を説明変数とする数量化 I 類分析⁽⁵⁾を部門別に行った。

3. データセットの加工

選定した地域特性とその出典, カテゴリ区分を表 1 にまとめた。部門別 CO₂ 排出量は, 環境省「部門別 CO₂ 排出量の現況推計」の最新年のデータである 2020 年度のデータを使用し, 推計手法の概要を表 2 にまとめた。市区町村は 2020 年 3 月 31 日時点の全国のすべての市区町村 1741 地域の中から福島県大熊町, 双葉町, 浪江町を除く 1738 地域を対象とした。当該 3 地域は東日本大震災の影響で現在も広範囲が帰還困難区域に指定されており, 統計データが本来の姿を反映していないと考えたためである。

表 1 地域特性別のデータの出典とカテゴリ区分

地域特性	データの出典	カテゴリ区分
A. 気候条件	国土交通省「省エネルギー地域区分」	1 地域 2 地域 3 地域 4 地域 5 地域 6 地域 7 地域 8 地域
B. 土地利用特性 (第一次分類)	農林水産省「農業地域類型」(第一次分類)	都市的地域 平地農業地域 中間農業地域 山間農業地域
C. 土地利用特性 (第二次分類)	農林水産省「農業地域類型」(第二次分類)	水田型 (水田率 70%以上) 田畑型 (水田率 30%~70%) 畑地型 (水田率 30%未満)
D. 可住地人口密度	SSDSE-A (教育用標準データセット) 総人口 (2020 年) ÷ 可住地面積 (2021 年)	200 人未満 200 人~400 人 400 人~800 人 800 人~1600 人 1600 人~3200 人 3200 人以上
E. 人口規模	SSDSE-A (教育用標準データセット) 総人口 (2020 年)	1 万人未満 1~3 万人 3~10 万人 10 万人~30 万人 30 万人以上
F. 単独世帯比率	SSDSE-A (教育用標準データセット) 単独世帯数 (2020 年) ÷ 一般世帯数 (2020 年)	25%未満 25%~30% 30%~35% 35%~40% 40%~45% 45%~50% 50%以上

表 2 部門別 CO₂ 排出量の推計手法

部門名	推計手法の概要
製造業	都道府県の製造業炭素排出量/都道府県の製造品出荷額等×市区町村の製造品出荷額等×44/12
建設業・鉱業	都道府県の建設業・鉱業炭素排出量/都道府県の従業者数×市区町村の従業者数×44/12
農林水産業	都道府県の農林水産業炭素排出量/都道府県の従業者数×市区町村の従業者数×44/12
業務	都道府県の業務部門炭素排出量/都道府県の従業者数×市区町村の従業者数×44/12
家庭	都道府県の家庭部門炭素排出量/都道府県の世帯数×市区町村の世帯数×44/12
運輸	運輸部門の小計（旅客・貨物自動車、鉄道、船舶の排出量の合計）（旅客・貨物自動車：全国の自動車車種別炭素排出量/全国の自動車車種別保有台数×市区町村の自動車車種別保有台数×44/12、鉄道：全国の人口当たり炭素排出量/全国の人口×市区町村の人口×44/12、船舶：全国の外航船舶を除く入港船舶総トン数当たり炭素排出量/全国の外航船舶を除く入港船舶総トン数×市区町村の外航船舶を除く入港船舶総トン数×44/12）
一般廃棄物	焼却処理量×（1－水分率）×プラスチック類比率×2.77+焼却処理量×全国平均合成繊維比率（0.0281）×2.29

4. データ分析の結果

4.1 地域特性と CO₂ 排出量の関係

本項目では、地域特性と 1 人あたり CO₂ 排出量の関係について、その特徴を述べる。既往の研究に倣い、表 1 に示した地域特性毎に、1 人あたり CO₂ 排出量の平均値を部門別に集計した結果を表 3 から表 8 にまとめた。なお、1738 市区町村の 1 人あたり CO₂ 排出量の全国平均は 9119kg-CO₂ である。

4.1.1 気候条件

気候条件については、建設業・鉱業部門、農林水産業部門、業務部門、家庭部門において、概ね寒冷な地域ほど 1 人あたり CO₂ 排出量の平均値が大きくなる傾向が見られた。建設業・鉱業部門では、寒冷地特有の道路インフラの凍害劣化等への対応が、農林水産業部門では、農業が盛んな北海道の自治体が平均値を大きくしたと考えた。業務、家庭部門については、既往の研究でも示されているとおり、暖房の使用量が平均値に反映されていると考えられる。また、運輸部門について 7 地域、8 地域の 1 人あたり CO₂ 排出量の平均値が突出している要因は、該当の地域に島嶼部が多く含まれ、輸送時の移動距離が大きいことであると考えられる。

4.1.2 土地利用特性（第一次分類）

土地利用特性（第一次分類）については、全合計では平地農業地域の平均値が最も大きく、都市的地域が最も小さいという結果になった。また、都市的地域は家庭部門の平均値も最小となっている。これらは既往の研究⁽²⁾とは異なる結果であり、都市的地域の CO₂ 排出特性が変化したと考えられる。この要因としては、公共交通機関の発達が進み、都市的地域の脱自動車化が進んだこと等が考えられる。

4.1.3 農業地域における土地利用特性（第二次分類）

農業地域における土地利用特性（第二次分類）については、畑地型において、業務部門、家庭部門、運輸部門と全合計が最大となった。業務部門、家庭部門は都市近郊農業の性格を反映しており、運輸部門は沖縄県の自治体が複数含まれていることが要因と考えられる。水田型は製造業部門の平均値が大きく、これは安価な労働力等を理由に製造業が地方に立地することが多いために、水田型の地域と共通点があるものと考えられる。

4.1.4 可住地人口密度

可住地人口密度については、概ね可住地人口密度が高くなるほど建設業・鉱業部門、農林水産業部門、家庭部門、運輸部門と全合計の平均値が小さくなる傾向が見られた。業務部門は 3200 人以上の市区町村のみ平均値が突出しており、その他の地域より労働力人口が大きいと考えられる。また、廃棄物分野（一般廃棄物）についてはほぼ一定であり、行政サービスが地域差なく提供されていると考えられる。

4.1.5 人口規模

人口規模については、業務部門を除いて前項と同様の傾向が見られた。業務部門については、人口 10 万人未満の市区町村よりも人口 10 万人以上の市区町村の方が平均値は大きくなる傾向が見られたが、人口 10 万人～30 万人の市区町村と人口 30 万人以上の市区町村では平均値に殆ど差が見られなかった。

4.1.6 単独世帯比率

単独世帯比率については、建設業・鉱業部門、業務部門、家庭部門、運輸部門において単独世帯比率が高くなるほど平均値が大きくなる傾向が見られた。また、製造業部門に着目すると、単独世帯比率 45%～50%の市区町村では平均値が大きく、50%以上になると小さくなることわかる。前者は地方や大都市周辺の製造業が活発な地域を、後者は大都市の中心部の性格をそれぞれ表していると考えられる。

表3 気候条件別1人あたりCO₂排出量

区分	自治体数	1人あたりCO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /人)								全国平均比
		製造業	建設業・ 鉱業	農林水産 業	業務	家庭	運輸	一般廃 棄物	全合計	
1地域	40	3,118	126	2,370	1,537	2,386	2,598	81	12,216	134.0%
2地域	144	2,539	126	1,499	1,439	2,253	2,796	84	10,737	117.7%
3地域	155	1,643	130	706	1,085	1,825	2,485	129	8,003	87.8%
4地域	195	2,531	99	539	1,053	1,455	2,264	118	8,058	88.4%
5地域	314	3,844	87	445	1,105	1,358	2,166	114	9,120	100.0%
6地域	682	4,660	63	261	1,220	1,225	1,861	112	9,401	103.1%
7地域	154	2,067	79	599	1,159	1,239	3,347	110	8,600	94.3%
8地域	54	370	94	467	1,697	1,482	3,187	146	7,444	81.6%
全体	1738	20,772	804	6,887	10,295	13,223	20,705	894	73,579	-

表4 土地利用特性（第一次分類）別1人あたりCO₂排出量

区分	自治体数	1人あたりCO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /人)								全国平均比
		製造業	建設業・ 鉱業	農林水産 業	業務	家庭	運輸	一般廃 棄物	全合計	
都市的地域	613	3,907	57	109	1,287	1,262	1,497	112	8,232	90.3%
平地農業地域	253	4,348	89	819	1,129	1,452	2,530	108	10,473	114.9%
中間農業地域	542	3,655	94	683	1,146	1,516	2,765	110	9,969	109.3%
山間農業地域	330	1,473	126	958	1,200	1,687	2,769	119	8,330	91.4%
全体	1738	13,382	366	2,569	4,761	5,917	9,561	449	37,004	-

表5 農業地域における土地利用特性（第二次分類）別1人あたりCO₂排出量

区分	自治体数	1人あたりCO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /人)								全国平均比
		製造業	建設業・ 鉱業	農林水産 業	業務	家庭	運輸	一般廃 棄物	全合計	
水田型	451	4,113	93	628	1,124	1,463	2,240	112	9,773	107.2%
田畑型	380	2,191	99	736	1,066	1,489	2,621	113	8,314	91.2%
畑地型	294	2,991	120	1,124	1,328	1,769	3,560	111	11,003	120.7%
全体	1,125	9,295	312	2,488	3,518	4,720	8,420	336	29,090	-

表6 可住地人口密度別1人あたりCO₂排出量

区分	自治体数	1人あたりCO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /人)								
		製造業	建設業・ 鉱業	農林水 産業	業務	家庭	運輸	一般廃 棄物	全合計	全国平均 比
200人未満	379	2,214	134	1,423	1,257	1,887	3,182	105	10,201	111.9%
200人～400人	394	2,942	100	617	1,126	1,446	2,677	115	9,022	98.9%
400人～800人	365	4,735	75	334	1,133	1,352	2,249	118	9,995	109.6%
800人～1600人	256	5,507	59	156	1,150	1,284	1,802	112	10,069	110.4%
1600人～3200人	155	3,492	53	75	1,150	1,212	1,540	105	7,626	83.6%
3200人以上	189	1,504	50	25	1,512	1,189	997	117	5,394	59.2%
全体	1738	20,394	470	2,629	7,326	8,369	12,448	672	52,307	-

表7 人口規模別1人あたりCO₂排出量

区分	自治体数	1人あたりCO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /人)								
		製造業	建設業・ 鉱業	農林水 産業	業務	家庭	運輸	一般廃 棄物	全合計	全国平均 比
1万人未満	528	2,949	122	1,078	1,204	1,692	3,245	111	10,400	114.1%
1～3万人	446	3,747	79	534	1,100	1,407	2,206	109	9,183	100.7%
3～10万人	481	3,909	68	261	1,201	1,304	1,855	111	8,708	95.5%
10万人～30万人	197	3,204	61	115	1,368	1,324	1,424	122	7,618	83.5%
30万人以上	86	2,586	61	52	1,369	1,290	1,167	124	6,648	72.9%
全体	1738	16,394	393	2,040	6,243	7,016	9,896	576	42,558	-

表8 単独世帯比率別1人あたりCO₂排出量

区分	自治体数	1人あたりCO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /人)								
		製造業	建設業・ 鉱業	農林水 産業	業務	家庭	運輸	一般廃 棄物	全合計	全国平均 比
25%未満	311	2,909	78	444	902	1,287	2,124	109	7,852	86.1%
25%～30%	445	4,074	72	387	1,038	1,290	2,087	112	9,060	99.4%
30%～35%	427	3,617	78	493	1,152	1,417	2,176	109	9,042	99.2%
35%～40%	311	3,482	98	814	1,279	1,630	2,256	111	9,670	106.0%
40%～45%	136	2,209	103	877	1,429	1,764	2,479	116	8,976	98.4%
45%～50%	51	5,066	105	655	1,462	1,769	2,354	130	11,541	126.6%
50%以上	57	1,018	191	587	3,340	1,804	5,145	143	12,229	134.1%
全体	1738	22,374	725	4,258	10,602	10,961	18,619	830	68,369	-

4.2 市区町村の類型化

本項目では、修正ウィーバー法により1,738の市区町村の類型化を行った。6部門1分野から作成した127の類型のうち、市区町村が分類された34の類型と該当する市町村数、脱炭素先行地域数、1人あたりCO₂排出量を表9に示す。なお、脱炭素先行地域が含まれる類型の行は色付けた。

類型別市区町村数を見ると、製造業、業務、家庭、運輸、一般廃棄物の複合型であるADEF型が最も多く

全体の19.0%であった。また、4部門以上の複合型が全体の約83%を占めていた。1人あたりのCO₂排出量を見ると、ともに主力部門が1つの類型であるA型（製造業）とD型（業務）の平均値が突出して大きい結果となった。脱炭素先行地域は17の類型に含まれており、偏りの少ない選定となっていることが示された。

表9 類型別市区町村数と1人あたりCO₂排出量

No.	類型名	構成比率が突出した部門または部門の組み合わせ	市区町村数		1人あたりCO ₂ 排出量平均		
			実数	構成比	実数 (kg-CO ₂ /人)	全国平均比	
							うち 脱炭素 先行地域
1	A型	製造業	90	5	5.2%	30747.77	337.2%
2	D型	業務	5	-	0.3%	20928.36	229.5%
3	AC型	製造業+農林水産業	1	-	0.1%	19238.61	211.0%
4	AD型	製造業+業務	3	1	0.2%	13175.53	144.5%
5	AE型	製造業+家庭	1	-	0.1%	8100.68	88.8%
6	DE型	業務+家庭	30	1	1.7%	3688.50	40.5%
7	ACE型	製造業+農林水産業+家庭	2	-	0.1%	16147.94	177.1%
8	ADE型	製造業+業務+家庭	57	6	3.3%	6922.33	75.9%
9	CFG型	農林水産業+運輸+一般廃棄物	1	-	0.1%	10269.25	112.6%
10	DEF型	業務+家庭+運輸	54	4	3.1%	4124.64	45.2%
11	DEG型	業務+家庭+一般廃棄物	36	2	2.1%	11057.67	121.3%
12	DFG型	業務+運輸+一般廃棄物	11	1	0.6%	6635.96	72.8%
13	ACDE型	製造業+農林水産業+業務+家庭	10	-	0.6%	10056.04	110.3%
14	ACEG型	製造業+農林水産業+家庭+一般廃棄物	11	2	0.6%	13044.55	143.1%
15	ADEF型	製造業+業務+家庭+運輸	176	11	10.1%	5454.83	59.8%
16	ADEG型	製造業+業務+家庭+一般廃棄物	26	-	1.5%	9485.86	104.0%
17	ADFG型	製造業+業務+運輸+一般廃棄物	2	-	0.1%	8131.93	89.2%
18	AEFG型	製造業+家庭+運輸+一般廃棄物	27	1	1.6%	6625.66	72.7%
19	BDEG型	建設業・鉱業+業務+家庭+一般廃棄物	1	-	0.1%	9655.01	105.9%
20	CDEG型	農林水産業+業務+家庭+一般廃棄物	62	4	3.6%	9713.36	106.5%
21	CEFG型	農林水産業+家庭+運輸+一般廃棄物	12	-	0.7%	8207.14	90.0%
22	DEFG型	業務+家庭+運輸+一般廃棄物	198	7	11.4%	5885.17	64.5%
23	ACDFG型	製造業+農林水産業+業務+運輸+一般廃棄物	5	-	0.3%	7453.83	81.7%
24	ACEFG型	製造業+農林水産業+家庭+運輸+一般廃棄物	12	-	0.7%	7657.22	84.0%
25	ADEFG型	製造業+業務+家庭+運輸+一般廃棄物	331	12	19.0%	6652.65	73.0%
26	BCDEF型	建設業・鉱業+農林水産業+業務+家庭+運輸	1	-	0.1%	6757.58	74.1%
27	BCDFG型	建設業・鉱業+農林水産業+業務+運輸+一般廃棄物	2	1	0.1%	6389.99	70.1%
28	BDEFG型	建設業・鉱業+業務+家庭+運輸+一般廃棄物	4	-	0.2%	10425.51	114.3%
29	CDEFG型	農林水産業+業務+家庭+運輸+一般廃棄物	212	4	12.2%	8635.22	94.7%
30	ABCDEF型	製造業+建設業・鉱業+農林水産業+業務+家庭+運輸	4	-	0.2%	8921.90	97.8%
31	ABCDFG型	製造業+建設業・鉱業+農林水産業+業務+運輸+一般廃棄物	3	-	0.2%	7477.16	82.0%
32	ABCEFG型	製造業+建設業・鉱業+農林水産業+家庭+運輸+一般廃棄物	1	-	0.1%	8289.59	90.9%
33	ACDEFG型	製造業+農林水産業+業務+家庭+運輸+一般廃棄物	58	4	3.3%	8173.84	89.6%
34	BCDEFG型	建設業・鉱業+農林水産業+業務+家庭+運輸+一般廃棄物	289	17	16.6%	11704.89	128.4%
35	全体	-	1738	83	100.0%	-	-

4.3 CO₂排出特性の規定要因分析

ここでは、1人あたりCO₂排出量を目的変数、6つの地域特性を説明変数とする数量化I類分析を行った。得られたレンジから算出した寄与率と自由度調整済み決定係数を表10に示す。なお、各部門と全合計で寄与率が最も高い箇所と、自由度調整済み決定係数が0.5以上の箇所を色付けした。

家庭部門、運輸部門、廃棄物分野（一般廃棄物）の自由度調整済み決定係数が0.5を超えており、地域特性の影響が強いと考えられる。また、3部門すべてで人口規模が最も高い寄与率となっている。よって、人口規模から強い影響を受けていることがわかる。しかし、全合計の自由度調整済み決定係数は0.061と非常に低い値となった。全合計のカテゴリースコアを算出したところ、A. 気候条件において、本研究ではこれまでに寒冷地ほどCO₂排出量の平均値が大きくなる傾向が示されたにもかかわらず、カテゴリースコアでは矛盾した結果が得られた。B. 土地利用特性（第一次分類）においても同様の矛盾が見られたため、カテゴリースコア

矛盾現象の検証を行った。その結果、A. 気候条件と B. 土地利用特性（第一次分類）の2つの特性のみ弱い正の相関となり、カテゴリースコア矛盾現象が発生していた。一般的に、カテゴリースコア矛盾現象が発生すると、分析精度は低下する。カテゴリースコアとカテゴリースコア矛盾現象の検証結果を表11に示す。

表10 数量化I類分析により算出した寄与率と自由度調整済み決定係数

項目	地域特性	製造業	建設業・ 鉱業	農林水 産業	業務	家庭	運輸	一般廃 棄物	全合計
寄与率	A. 気候条件	6.1%	5.7%	9.5%	5.5%	7.0%	1.7%	3.0%	18.4%
	B. 土地利用特性(第一次分類)	5.3%	4.2%	4.8%	2.1%	2.8%	3.5%	1.5%	16.0%
	C. 土地利用特性(第二次分類)	3.6%	1.2%	1.5%	0.1%	0.1%	0.2%	1.5%	1.9%
	D. 可住地人口密度	17.0%	4.1%	31.6%	7.7%	6.0%	8.4%	7.3%	25.7%
	E. 人口規模	57.7%	68.0%	44.9%	58.7%	73.7%	78.2%	75.7%	13.4%
	F. 単独世帯比率	10.4%	16.8%	7.7%	25.9%	10.3%	8.1%	11.0%	24.7%
自由度調整済み決定係数		0.225	0.472	0.460	0.427	0.511	0.613	0.588	0.061

表11 全合計におけるカテゴリースコアとカテゴリースコア矛盾現象の検証

説明変数名	区分	偏回帰係 数	P 値	自 治 体 数	加重平均	カテ ゴ リ ー ス コ ア	カテ ゴ リ ー 別 平 均 値	相 関	対 応 の 有 無
A. 気候条件	1地域	3777.29	0.058	40	4004.40	-227.12	12215.64	0.49	×
	2地域	2980.04	0.053	144		-1024.37	10736.64		
	3地域	2703.70	0.087	155		-1300.71	8003.06		
	4地域	3167.89	0.041*	195		-836.52	8058.32		
	5地域	3875.82	0.009**	314		-128.59	9119.91		
	6地域	5469.71	0.000***	682		1465.30	9401.19		
	7地域	2566.75	0.096	154		-1437.66	8600.15		
	8地域	0.00		54		-4004.40	7444.21		
B. 土地利用特 性(第一次 分類)	都市的地域	4769.10	0.000***	613	3180.85	1588.25	8232.22	0.30	×
	平地農業地域	4040.43	0.000***	253		859.58	10472.87		
	中間農業地域	2919.98	0.000***	542		-260.87	9969.03		
	山間農業地域	0.00		330		-3180.85	8330.35		
C. 土地利用特 性(第二次 分類)	水田型	-173.04	0.795	718	-258.61	85.57	9773.47	0.98	○
	畑型	-575.61	0.391	565		-317.00	8313.61		
	畑地型	0.00		455		258.61	11002.94		
D. 可住地人口 密度	200人未満	7416.32	0.000***	379	6054.09	1362.23	10200.98	0.96	○
	200人～400人	7043.92	0.000***	394		989.82	9022.11		
	400人～800人	7636.80	0.000***	365		1582.71	9995.07		
	800人～1600人	6210.99	0.000***	256		156.90	10069.19		
	1600人～3200人	3603.08	0.001***	155		-2451.01	7625.81		
	3200人以上	0.00		189		-6054.09	5393.79		
E. 人口規模	1万人未満	3979.20	0.004**	528	2233.20	1746.00	10400.44	0.97	○
	1～3万人	2379.35	0.071	446		146.15	9182.58		
	3～10万人	1399.98	0.253	481		-833.22	8708.44		
	10万人～30万人	231.99	0.851	197		-2001.21	7618.43		
	30万人以上	0.00		86		-2233.20	6648.44		
F. 単独世帯比 率	25%未満	-7339.05	0.000***	311	-4746.14	-2592.90	7851.99	0.97	○
	25%～30%	-5136.40	0.000***	445		-390.26	9060.04		
	30%～35%	-4646.01	0.001***	427		100.13	9041.57		
	35%～40%	-3775.68	0.007**	311		970.47	9670.10		
	40%～45%	-3549.74	0.018*	136		1196.40	8976.23		
	45%～50%	-780.58	0.664	51		3965.56	11540.79		
	50%以上	0.00		57		4746.14	12228.77		

*: P < 0.05 ** : P < 0.01 ***: P < 0.001

5. まとめ

今回の分析では、以下の知見を得た。

まず、地域特性と CO₂ 排出量の関係を表に整理した。この表は地域特性別、カテゴリー別の 1 人あたり CO₂ 排出量の平均値を様々な視点で読み取ることができる。第 4 項では地域特性毎の特徴を述べたが、ここでは、各部門の 1 人あたり CO₂ 排出量平均が高くなる地域の特徴を部門別に整理してみる。製造業部門は、水田型の農業地域である。建設業・鉱業部門は、寒冷地や山間農業地域、可住地人口密度や人口規模の小さい地域、単独世帯比率の大きい地域である。農林水産業部門は、建設業・鉱業部門と同様の地域に加えて、畑地型の農業地域である。業務部門は寒冷な地域と温暖な地域の両方で平均値が高くなっており、暖房や冷房のエネルギー使用量が多い地域と解釈できる。また、可住地人口密度が 3200 人以上の人口集中地域も該当する。単独世帯比率と業務部門の平均値は比例して大きくなる。家庭部門は、寒冷地であること、また、都市型地域よりも農業地域、人口密度や人口規模の小さい地域で平均値が大きくなる傾向がある。運輸部門は、家庭部門と同様の地域に加えて島嶼部と畑地型の農業地域が該当する。廃棄物分野（一般廃棄物）は他の部門と比べて地域特性による CO₂ 排出特性があまり見られなかった。廃棄物処理は住民が基本的な生活を営む上で重要な社会インフラであり、どのような地域でも同じように提供されていると考えられる。

次に、市区町村を 6 部門 1 分野の CO₂ 排出特性によって類型化した結果、34 の類型に分類された。単一型の類型に分類された市区町村は「製造業特化型」の 90 市区町村と「業務特化型」の 5 区（東京都千代田区、中央区、港区、新宿区、渋谷区）である。市町村数としては全体の 6%にも満たないが、1 人あたり CO₂ 排出量の全国平均比はそれぞれ 337.2%、229.5%と突出しており、この 2 つの類型に該当する市区町村が積極的に削減に取り組んだ場合の削減効果は非常に高いといえる。また、脱炭素先行地域は 34 の類型のうち半数の 17 類型に含まれており、様々な CO₂ 排出特性の市区町村が選考されていることが確かめられた。ただし、前述した「業務特化型」の 5 区には脱炭素先行地域が含まれていないため、今後少なくとも 1 つ以上が脱炭素先行地域に指定されることを期待したい。

続いて、CO₂ 排出特性の規定要因となる地域特性を明らかにするために、1 人あたり CO₂ 排出量を目的変数、地域特性別カテゴリーを説明変数とする数量化 I 類分析を行った。家庭部門、運輸部門、廃棄物分野（一般廃棄物）においては、自由度調整済み決定係数が 0.5 を超えており、また、共通して人口規模の寄与率が最も高かったことから人口規模の影響を強く受けていることがわかった。

今後の課題として、数量化 I 類モデルの改善を挙げる。今回実施した分析では、全合計の自由度調整済み決定係数が 0.061 と非常に低い値となり、分析精度が低かった。カテゴリースコアによる検証の結果、作成したモデルにおいてカテゴリースコア矛盾現象が発生していることがわかった。カテゴリースコア矛盾現象は一般的に分析精度を低下させるため、クラメールの連関係数や相関比を用いて説明変数の絞り込みを行い、カテゴリースコア矛盾現象を解消できれば、分析精度を上げることができると考えられる。

参考文献

- (1) 松橋 啓介, 石河 正寛, 家庭と乗用車から生じる市区町村別 CO₂ 排出量に関する考察, 都市計画論文集, 2018, 53 巻, 3 号, p. 913-918
- (2) 中口 毅博, CO₂ 排出特性による市区町村の類型化と地域特性の関係に関する研究, 環境科学会誌, 2011, 24 巻, 4 号, p. 329-340
- (3) 土井 喜久一, ウィーバーの組合せ分析法の再検討と修正, 人文地理, 1970, 22 巻, 5-6 号, p. 485-502
- (4) 坂本 英夫, 農業経済地理, 古今書院, 1990, p. 44-45
- (5) 統計分析研究所, 多変量解析の手法別解説, https://istat.co.jp/ta_commentary/method1 (最終閲覧日: 2023. 8. 31)