

半導体貿易に関する汚染 逃避地仮説の実証

名古屋大学経済学部

柳瀬ゼミ

石塚雄也・林京吾・星野聖夜・矢島透

目次

1. 研究動機
2. 半導体
3. 汚染逃避地仮説
4. リサーチクエスチョン
5. 実証分析
6. 結果
7. 考察
8. 参考文献

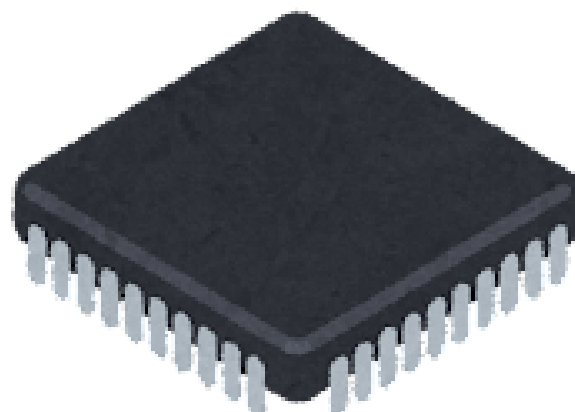
1.研究動機

トレンドである「半導体」と「環境」の関係を
調べてみたい！

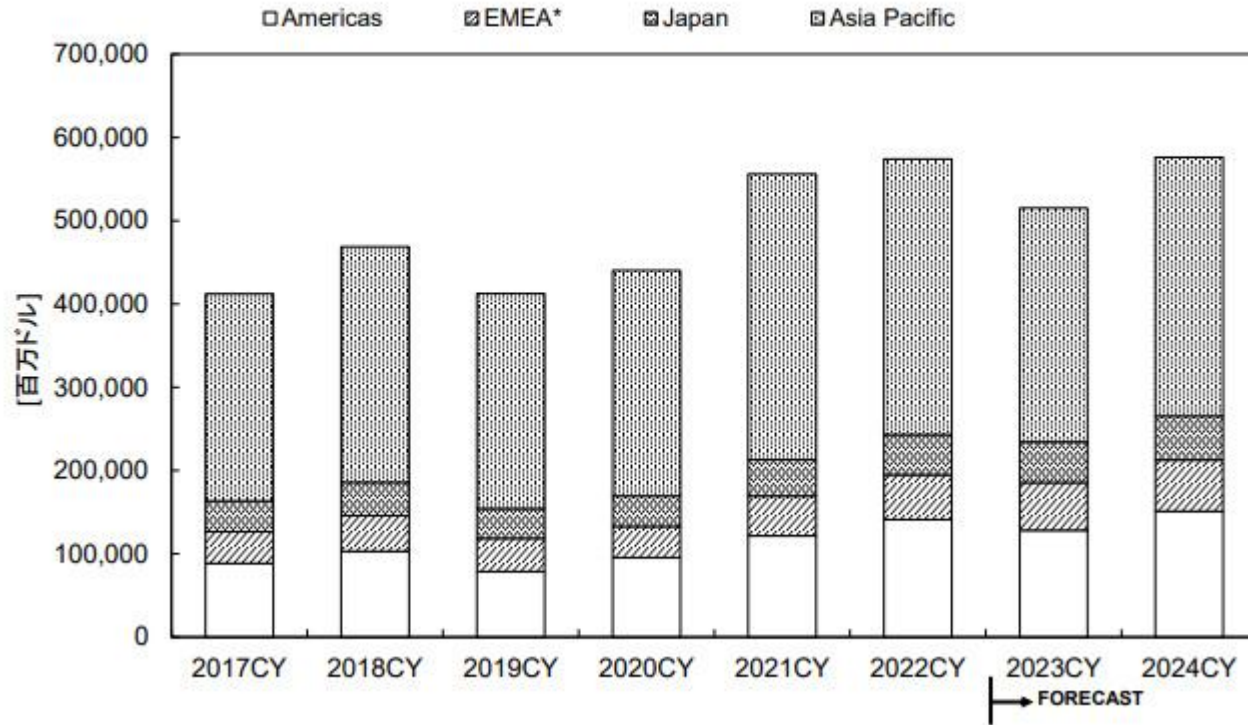
2.半導体

2.1 半導体とは

5G・ビッグデータ・AI・自動運転などのデジタル社会を支える重要基盤



世界地域別市場予測



	2017CY	2018CY	2019CY	2020CY	2021CY	2022CY	2023CY	2024CY
Worldwide(M\$)	412,221	468,778	412,307	440,389	555,893	574,084	515,095	575,997
Americas	88,494	102,997	78,619	95,366	121,481	141,136	128,236	150,989
EMEA*	38,311	42,957	39,816	37,520	47,757	53,853	57,253	61,637
Japan	36,595	39,961	35,993	36,471	43,687	48,158	48,724	52,534
Asia Pacific	248,821	282,863	257,879	271,032	342,967	330,937	280,881	310,838
Japan(円ベース) 億円	41,041	44,126	39,187	38,934	48,038	63,264	64,494	69,537

Growth Rate(%)	2017CY	2018CY	2019CY	2020CY	2021CY	2022CY	2023CY	2024CY
Worldwide	21.6%	13.7%	-12.0%	6.8%	26.2%	3.3%	-10.3%	11.8%
America	35.0%	16.4%	-23.7%	21.3%	27.4%	16.2%	-9.1%	17.7%
EMEA*	17.1%	12.1%	-7.3%	-5.8%	27.3%	12.8%	6.3%	7.7%
Japan	13.3%	9.2%	-9.9%	1.3%	19.8%	10.2%	1.2%	7.8%
Asia Pacific	19.4%	13.7%	-8.8%	5.1%	26.5%	-3.5%	-15.1%	10.7%
Japan(円ベース)	17.0%	7.5%	-11.2%	-0.6%	23.4%	31.7%	1.9%	7.8%

	2017CY	2018CY	2019CY	2020CY	2021CY	2022CY	2023CY	2024CY
円→ドル	112.1	110.4	108.9	106.8	110.0	131.4	132.4	132.4

*EMEA : Europe, Middle East & Africa

JEITA 世界半導体市場統計

半導体の需要は拡大しており、今後も拡大が予測される。

2.2 半導体の環境負荷

製造工程において、

- ・ 有毒ガスの排出
- ・ 温室効果ガスの使用

表2 半導体工場における主要化学物質の使用状況と排出形態

主要化学物質	使用量* (kg)	製造工程ごとの使用状況**							排出形態***				
		エピタキシャル	エッチング・レジスト除去	不純物拡散	イオン注入	CVD	ウェーハ・チップ洗浄	器具・工具洗浄	排気	排水	液状物	固形物	
有機溶剤	トリクロロエチレン (C ₂ HCl ₃)	3 764 000		◎				○	○	○	△	◎	
	テトラクロロエチレン (C ₂ Cl ₄)	317 000		◎				○		○		◎	
	1,1,1-トリクロロエタン (C ₂ H ₃ Cl ₃)	185 000		◎				◎		◎		◎	
	三フッ化三塩化エタン (C ₂ F ₃ Cl ₃)	90 000						△	◎	◎		◎	
特殊ケイ素系	シラン (SiH ₄)	19 900	△				◎			◎	△	△	○
	ジクロロシラン (SiH ₂ Cl ₂)	10 500	◎				◎			◎	△		○
	四塩化ケイ素 (SiCl ₄)	36 700	◎	○					△	◎	△	△	○
材料ホウ素系	ジボラン (B ₂ H ₆)	48			○	○	◎			◎	△		△
	三フッ化ホウ素 (BF ₃)	121				◎				◎		△	○
	三塩化ホウ素 (BCl ₃)	9 300		◎	△					◎		△	△
ガスヒ素系	アルシン (AsH ₃)	51	△			◎	△			◎	△	△	○
	三塩化ヒ素 (AsCl ₃)	72					◎			◎			
リン系	ホスフィン (PH ₃)	1 080			○	○	◎			◎	△	△	○
	オキシ塩化リン (POCl ₃)	2 290			◎		○			○	○		◎
フッ化物	四フッ化炭素 (CF ₄)	106 000		◎			△			◎	△	△	△
	三フッ化メタン (CHF ₃)	7 200		◎						◎	△	△	△
	フッ化水素 (HF)	1 221 000		◎				○	○	△	◎	△	
	フッ化アンモニウム (NH ₄ F)	1 138 000		◎				△		△	◎	○	△

処理工程において、

- ・ 大きな電力消費
- ・ 有害物質の廃棄

→環境への負荷が大きい



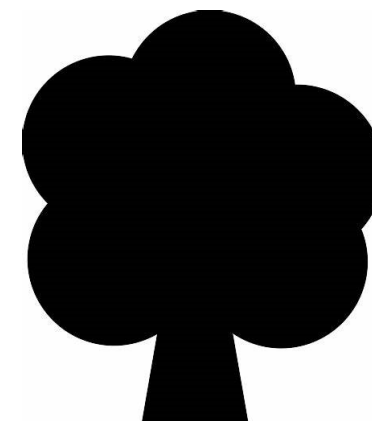
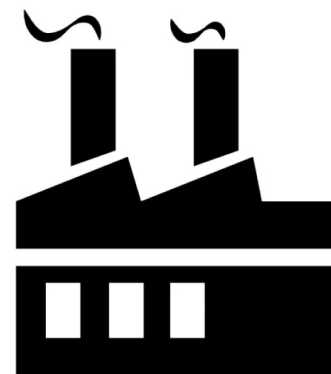
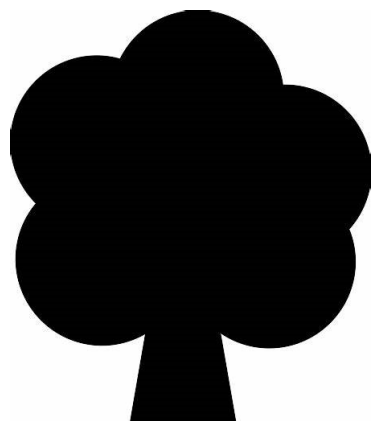
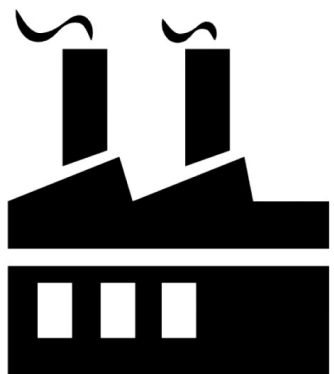
3.汚染逃避地仮説

3.1 汚染逃避地仮説とは

「環境規制」と「貿易」に関する仮説。環境規制の弱い国で、汚染集約財の輸出が拡大し、環境規制の強い国で、非汚染集約財の輸出が拡大するという主張。

A国(環境規制が弱い国)

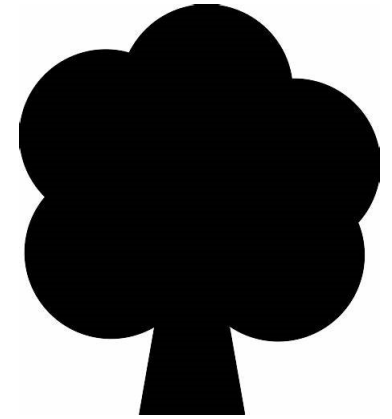
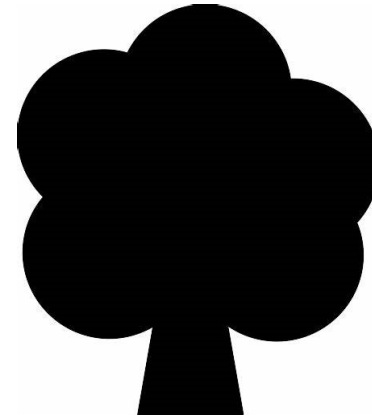
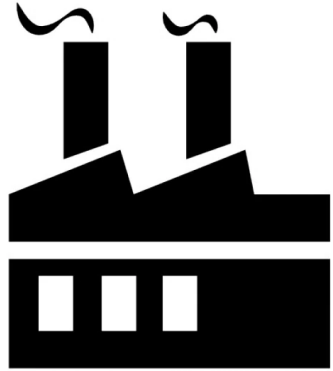
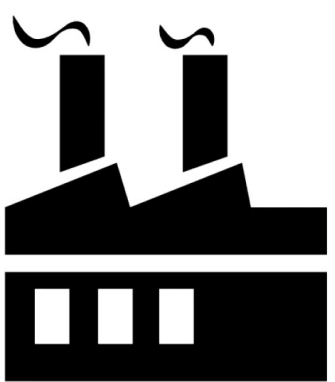
B国(環境規制が強い国)



自由貿易化になると . . .

A国(環境規制が弱い国)

B国(環境規制が強い国)



環境規制の違いが比較優位を決定づける要因となる可能性がある

3.2 先行研究

①劉, 金昊 (2015) 「産業集積に伴う汚染排出と環境規制」

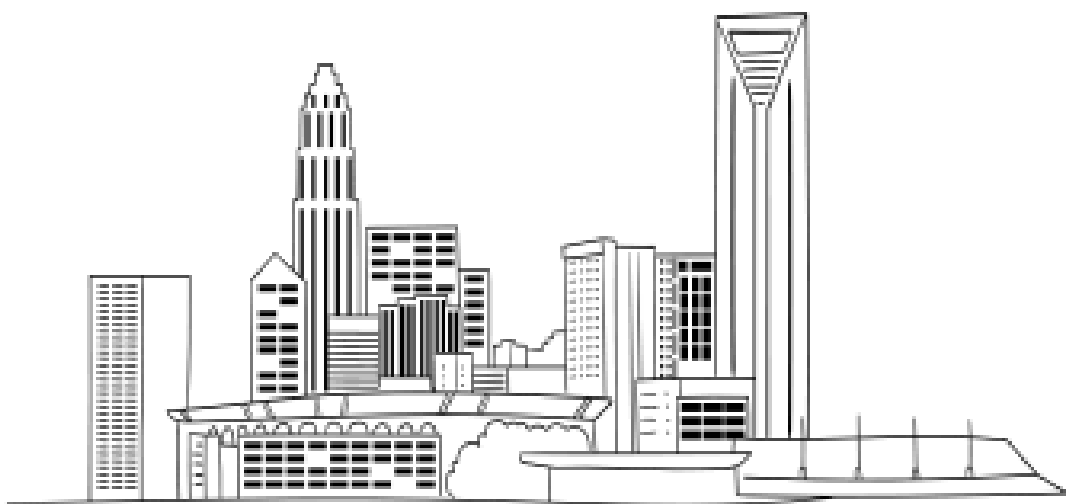
研究内容

一方的に強化された環境規制が2地域間の熟練労働者（企業）にどのような影響を与えるかを調べる。核・周辺モデルで生産要素としての汚染排出を導入し、汚染排出の代替効果が存在する時に環境規制が産業集積に与える影響を考察することである。拡張されたモデルで汚染避難地効果の存在を理論的に確認し、汚染避難地仮説についての理論的な説明を行う。

先行研究

結果

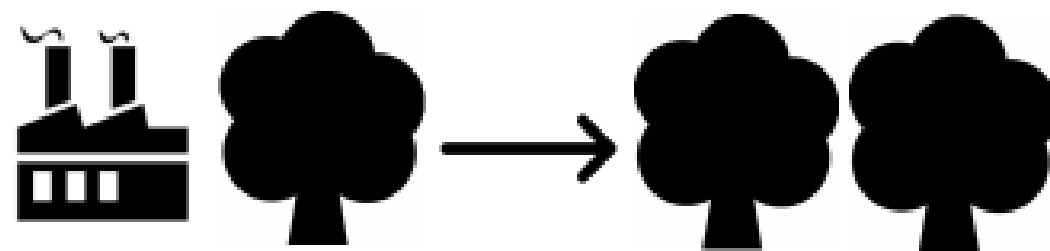
1、核地域、周辺地域



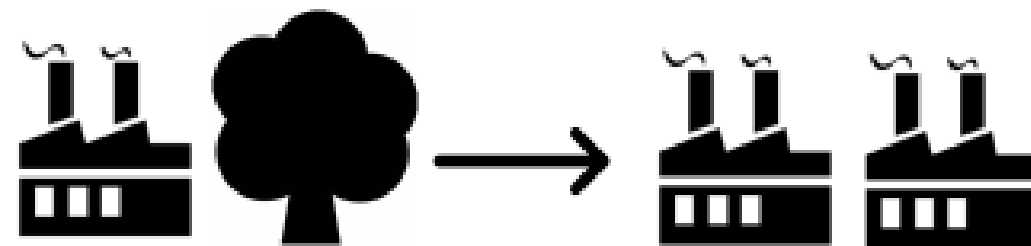
企業の流出は引き起こさない

2、分散均衡

規制が厳しい地域



規制が緩い地域



企業の流出を引き起こす

② "SOURCES OF COMPARATIVE ADVANTAGE IN POLLUTING INDUSTRIES"

Fernando Broner/ Paula Bustos / Vasco M. Carvalho (2012・8)

研究内容

汚染産業における比較優位の決定要因の研究について。国レベルでの環境政策に関するデータと業界レベルでの汚染強度に関するデータを組み合わせて、環境規制の緩い国が汚染産業においては比較優位であることを示す。

ここで用いられるモデルは、国、2つの貿易可能な財（清浄な財と汚染財）、労働力・きれいな空気の2つの生産要素によって設定される。

結果

貿易と環境では汚染産業における比較優位に対する環境規制の影響は小さく、重要でない。

⇔

- ・ 汚染逃避地効果の存在を前提に進められている政策議論や規制措置に矛盾
 - ・ 工場の立地に対する環境規制の影響についての考え方にも矛盾
- この研究の結果は、同様の分析温室効果ガスの排出量について拡張可能

⇒ 発展途上国において排出量が増加する原因を明らかにすることができる

③ マイ ゴック グエン (2011) 「産業連関表を用いたベトナムの汚染逃避地仮説に関する一考察」

研究内容

一般的に、先進国は環境規制が厳しく、発展途上国は環境規制が緩い。途上国「ベトナム」を後者と位置づけ、汚染逃避地仮説を検証する。1989年、1996年、2000年、2005年の産業連関表を分析し、貿易増加によって発生したCO₂とSO₂の排出量を求め、ベトナムが汚染逃避地になっているのか考える。

結果

現発展段階のベトナムでは、大気汚染の面において、汚染逃避地仮説は支持されない。貿易の拡大によって、CO₂ に関しては徐々に汚染逃避地仮説に当てはまっていくが、SO₂ に関しては当てはまらなくなっていく。

→汚染逃避地仮説が成立するケースも、成立しないケースも存在する

4. リサーチクエスチョン

半導体は汚染集約度の高い産業であるので、汚染逃避地仮説に当てはまるのではないか

5.実証分析

重力モデルを参考にして半導体貿易に対する環境規制の影響を調べる。

重力モデルとは

$$\text{2国間の貿易額} = \frac{\text{輸出国のGDP} \times \text{輸入国のGDP}}{\text{2国間の距離}}$$

で表される。

貿易額は輸出国、輸入国のGDPに比例し、2国の距離に反比例する。

5. 実証分析

回帰式

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3$$

y : 日本の半導体輸入額

x_1 : 相手国の環境規制

x_2 : 国別 GDP

x_3 : 2国間の距離

日本の半導体輸入額(千円)(1990~2020)

	Australia601	Austria225	Belgium208	Canada302	Denmark204	Finland222	France210	Germany213	Ireland206	Italy220	Korea103	Netherlands207	Spain218	Sweden203	Switzerland215	United Kingdom205	United States304
1990	30966	7535	681	35821	2415	9335	285354	1631050	43289	64774	14551235	173771	983	430966	91786	1941359	13169413
1991	15409	35720	1121	34516	12857	6524	435632	1548710	84946	57604	16850451	140212	2765	296415	22231	2632326	13622345
1992	3061	30009	796	60055	1601	6376	349451	868512	130348	57160	14225475	173542	8370	179125	19950	1849938	11818003
1993	38995	34738	2316	38072	1733	6240	307261	739679	122206	38190	13003715	745144	37023	203508	33156	908524	10623471
1994	96881	35231	818	121891	2534	10203	300018	1014091	156349	44266	14284637	1283737	24139	149925	64578	1636715	10892212
1995	10253	132420	5341	106127	1492	4981	743998	1549200	132692	54702	13735631	1330922	96161	304391	94115	2154366	13361078
1996	302885	184585	1040	120949	784	13857	1078514	1787002	145118	145462	17098888	1099865	78142	652414	145775	2507733	18119574
1997	33335	136790	44268	66321	2157	3337	1079723	1424479	196507	203228	20189972	200429	229885	419075	143191	2462174	25331240
1998	3614	73157	1560	144327	8733	14408	1042994	1352915	404055	131510	15104487	163298	72938	120507	167412	2531317	25497560
1999	59646	129934	2454	151324	1712	2607	1205571	1052077	289672	74892	13800383	655252	14591	153145	238570	2430651	23471617
2000	192516	102787	8953	454900	5026	4780	1502204	1551298	482520	58014	17841407	547081	36777	178790	496453	2619763	37115389
2001	100631	35019	3390	432006	3377	7547	947304	2759639	230717	67283	16827854	170013	41951	226773	604164	1579399	31858896
2002	37828	34692	25806	318663	4949	4693	1425288	3016848	7228	36630	16061849	103577	43061	120862	267348	1271854	24969639
2003	5891	87223	84360	360615	6255	9073	775981	3559199	5450	135451	14366071	82369	37779	121876	374199	1177897	29023813
2004	15331	318576	926563	486216	82854	114125	552521	3836016	20819	206674	14884037	336662	38506	127893	539819	1350858	29893353
2005	16253	280460	278221	360779	14443	206957	457566	6616898	6278	214980	16340633	245478	22735	111280	786617	1655014	36367407
2006	13306	322397	46381	149650	21112	303949	448317	11728524	9806	208987	18984938	163647	11610	184277	706950	1856497	33429451
2007	9346	446510	56789	134939	20634	27013	443658	4248520	12998	384928	15511623	193316	34056	161750	880163	1245275	25833843
2008	6050	247222	78005	163647	19360	25690	632255	8806007	40329	169384	14097738	190406	3758	182351	556295	1499555	24742557
2009	5691	569741	69867	127310	6255	16452	241988	5852175	13900	105980	11987130	122820	29851	72401	1703415	702143	15834628
2010	3021	294309	41236	74608	9125	112584	464496	4358120	28164	214941	20680896	104004	80435	44124	447389	637607	16421054
2011	279094	318525	100211	118744	13156	93758	944115	3347170	4401	815781	21429815	108653	50734	37208	457465	2056780	12055112
2012	11014	452175	71253	138853	16658	2243	597187	3604583	16572	227344	25897660	610555	293832	49509	353753	4008236	13646706
2013	25118	644287	406713	158907	4788	1307	663836	5400739	9678	435270	67881729	625135	860906	110635	293246	27605581	24240640
2014	11255	503108	404364	145601	4215	3096	847860	8686566	167188	364122	60593542	208761	257770	88085	346795	9223667	17101308
2015	21980	466299	359283	216128	11187	16744	595542	6735727	38401	6004023	59278427	76051	58196	137176	418127	1156026	12775428
2016	72104	365323	131700	218414	2116	8262	365204	6059276	58409	5199013	39477706	46765	5016	66469	630814	551198	10333353
2017	179386	420785	55743	222984	3261	18919	671690	3624883	64494	367856	47277056	167476	38877	12138	416183	821640	11561263
2018	2408	358788	266204	204003	14529	22288	985087	5870177	14870	777144	46074532	85665	9264	21557	297013	1139508	11322111
2019	12639	616534	29779	319928	6963	34029	1488513	5670705	38936	10176431	40387195	65532	60410	31764	314371	1303329	9806058
2020	4824	455824	40068	217482	13122	55981	1907268	5845884	63356	6641379	24156756	110752	13554	20816	200575	1329618	8751901

環境規制にはThe OECD Environmental Policy Stringency Index を使用
 この指数は環境政策の厳格さを国別かつ国際比較可能な尺度で表したものの。
 0～6段階の評価がある。(6が最も厳格)

	Australia601	Austria225	Belgium208	Canada302	Denmark204	Finland222	France210	Germany213	Ireland206	Italy220	Korea103	Netherlands207	Spain218	Sweden203	Switzerland215	United Kingdom205	United States304
1990	0.17	1.39	0.89	0.67	0.42	1.58	1.44	1.44	0.53	1.61	0.08	1.56	0.72	0.69	1.50	1.11	0.83
1991	0.17	1.39	0.89	0.67	0.94	1.72	1.33	1.69	0.47	1.50	0.33	1.56	1.11	1.03	1.75	1.11	0.83
1992	0.17	1.39	0.94	0.67	1.28	1.89	1.33	1.61	0.53	1.58	0.33	1.56	1.11	1.53	1.67	1.11	1.00
1993	0.17	1.39	0.94	0.72	1.17	1.89	1.33	1.61	0.53	1.33	0.33	1.56	1.11	1.36	1.67	0.94	1.08
1994	0.17	1.39	1.11	0.72	1.17	1.83	1.39	1.67	0.53	1.33	0.33	1.61	1.28	1.42	2.33	1.00	1.08
1995	0.17	1.61	1.11	0.72	1.17	2.00	1.39	1.50	0.53	1.42	0.33	1.44	1.11	1.25	2.33	1.00	1.25
1996	0.17	1.61	1.11	0.50	1.50	1.83	1.47	1.69	0.89	1.42	0.75	1.39	1.11	1.31	2.33	1.00	1.08
1997	0.17	1.61	1.11	0.83	1.50	2.22	1.47	1.44	0.89	1.33	0.75	1.44	1.11	1.25	2.33	1.00	1.08
1998	0.50	1.61	1.28	0.83	1.44	2.06	1.47	1.58	0.94	1.58	0.75	1.50	1.11	1.39	2.17	1.00	1.19
1999	0.50	1.61	1.11	0.83	1.56	2.06	1.64	1.50	0.94	1.50	0.83	1.44	1.19	1.33	2.17	1.00	1.14
2000	0.83	1.89	1.56	0.72	2.00	2.08	1.75	1.78	1.22	1.78	0.89	1.56	1.47	2.17	2.25	1.33	1.22
2001	0.89	1.89	1.56	0.72	2.00	2.08	1.67	1.78	1.17	1.78	0.89	1.72	1.47	2.39	2.25	1.33	1.22
2002	1.14	1.89	1.61	0.72	1.89	2.58	2.00	2.42	1.22	1.92	1.39	1.61	1.47	3.06	2.25	1.33	1.22
2003	1.14	2.19	1.56	1.89	2.64	2.42	2.08	2.67	1.97	1.92	1.81	1.78	1.47	3.08	2.25	2.14	1.22
2004	1.47	2.19	2.47	1.89	2.81	2.64	2.83	2.78	2.03	1.97	2.22	1.81	2.22	3.14	2.25	2.14	1.22
2005	1.81	2.31	2.58	2.06	3.03	2.75	2.86	2.89	2.08	2.22	3.14	2.75	2.36	3.08	2.28	2.31	1.22
2006	2.22	2.53	2.64	2.47	3.14	2.97	3.08	2.94	2.44	3.14	3.31	2.78	2.39	3.25	2.28	2.42	1.67
2007	2.22	2.25	2.31	2.86	3.14	2.97	3.25	2.78	2.36	2.97	3.31	2.78	2.47	3.08	2.53	2.25	1.67
2008	2.36	2.67	2.64	2.94	3.19	3.19	3.42	3.03	2.64	3.08	3.14	3.22	2.56	3.42	3.17	2.47	1.89
2009	2.53	2.94	2.67	3.19	3.42	3.17	3.69	3.14	2.67	3.28	3.31	3.56	2.67	3.61	3.36	2.67	2.33
2010	2.83	3.08	2.56	3.61	4.08	3.11	3.61	3.08	2.67	3.47	3.39	3.75	2.61	3.61	3.33	3.36	2.03
2011	3.00	3.06	2.94	3.61	4.22	3.75	3.94	3.17	2.58	3.50	3.61	3.17	2.83	3.50	3.56	3.33	2.03
2012	3.42	2.94	3.06	3.44	3.89	3.64	3.92	3.06	2.58	3.58	3.00	3.14	2.81	3.39	3.64	2.89	2.36
2013	3.53	3.28	2.94	3.44	4.06	3.64	3.92	3.22	2.81	3.67	3.00	3.06	2.22	3.44	3.64	3.22	2.44
2014	2.69	3.11	2.94	3.19	4.11	3.69	4.22	3.11	2.86	4.00	2.83	3.11	2.39	3.56	4.06	3.75	2.42
2015	2.69	2.94	2.83	2.53	4.03	3.86	4.03	3.03	2.86	4.06	2.94	3.19	2.39	3.61	4.03	3.86	2.47
2016	2.69	2.94	2.89	2.36	3.94	3.83	3.92	3.08	2.50	4.06	3.00	3.33	2.28	3.67	4.14	3.36	2.97
2017	2.75	2.94	2.94	2.58	4.03	3.83	4.17	3.03	2.44	4.06	3.00	3.11	2.28	3.61	4.14	3.47	2.97
2018	2.86	3.08	3.00	2.69	3.78	3.92	4.56	3.25	2.50	3.78	3.11	3.50	2.44	3.67	4.42	3.53	2.92
2019	2.86	3.14	3.22	2.64	3.67	3.81	4.72	3.31	2.56	3.75	3.17	3.47	2.44	3.61	4.22	3.53	2.92
2020	2.92	3.31	3.44	3.03	3.72	4.11	4.89	3.47	3.00	3.72	3.17	3.47	2.50	3.83	4.50	3.61	3.03

日本との距離 (km)

Australia601	Austria225	Belgium208	Canada302	Denmark204	Finland222	France210	Germany213	Ireland206	Italy220	Korea103	Netherlands207	Spain218	Sweden203	Switzerland215	United Kingdom205	United States304
7831.446	9141.063	9463.263	10358.49	8702.536	7830.051	9725.629	9298.341	9599.005	9869.275	1156.67	9303.377	10777.42	8180.65	9680.594	9574.237	10855.59

「The CEPII Gravity Dataset」

http://www.cepii.fr/CEPII/en/bdd_modele/bdd_modele_item.asp?id=6

6.分析結果

回帰統計									
重相関 R	0.525523								
重決定 R ²	0.276174								
補正 R ²	0.272022								
標準誤差	7143689								
観測数	527								
分散分析表									
	自由度	変動	分散	割られた分散	有意 F				
回帰	3	1.02E+ 16	3.39E+ 15	66.51659	1.9E-36				
残差	523	2.67E+ 16	5.1E+ 13						
合計	526	3.69E+ 16							
	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%	
切片	20124210	1511236	13.31639	4.79E-35	17155371	23093048	17155371	23093048	
GDP	187.1212	35.96767	5.202483	2.83E-07	116.4623	257.78	116.4623	257.78	
Environment	-2045777	451225.1	-4.53383	7.19E-06	-2932213	-1159340	-2932213	-1159340	
distance	-2116.61	151.5957	-13.9622	6.98E-38	-2414.43	-1818.8	-2414.43	-1818.8	

日本の半導体輸入量は
環境規制と負の相関がある

そのため、日本の半導体貿易に関しては、
汚染逃避地仮説に合致していると言える。

しかし、今回は重決定R²が小さいため、
十分に説明しているとは言えない。

7. 考察

▶ 要因

欧米や韓国、台湾の会社であっても国の環境規制政策から他国で製造を行い輸出している可能性がある。

▶ 課題

コントロール変数を増やし、決定係数に説得力を持たせること。

▶ 展望

国内半導体産業の発展と環境保護のバランスを考えて環境規制を定める必要がある。

8.参考文献

▶使用データ

財務省貿易統計

OECD data “Gross domestic product

OECD data “The OECD Environmental Policy Stringency Index”

CEPII data “The CEPII Gravity Dataset”

▶先行研究

有村俊秀 片山東 松本茂 『環境経済学のフロンティア』 日本評論社、年

劉金昊 (2015) 「産業集積に伴う汚染排出と環境規制」 『経済論究. 153』 pp.41-58, (九州大学大学院経済学会)

マイ ゴック グエン (2011) 「産業連関表を用いたベトナムの汚染逃避地仮説に関する一考察」 『経済論業』 第185巻代号、pp.43-55,(京都大学)

Fernando Broner, Paula Bustos, Vasco M. Carvalho(2012), Sources of Comparative Advantage in Polluting Industries,

NBER Working Papers 18337, National Bureau of Economic Research, Inc.

▶参考資料

JEITA 世界半導体市場統計

[20230606WSTS.pdf \(jeita.or.jp\)](https://www.jeita.or.jp/20230606WSTS.pdf)

半導体製造における排水排ガスの処理と安全対策

[hanndoutai.pdf](#)