

社会経済的要因が都道府県における建設材料の消費による 環境負荷の変化に及ぼす影響

Effect of socio-economic factors on the change in environmental impact due to construction material usage in prefectures

北海道大学工学部環境社会工学科
北海道大学工学院工学研究院

○学生員 榎並諒 (Enami Makoto)
正 員 ヘンリー・マイケル (Henry Michael)

1. はじめに

産業の発展とともに環境の破壊が進んでいた時期は終わり、世界的に開発と環境の保全を共存し得るものとしてとらえる「持続可能な開発」が求められている。その中でも2015年9月25日に国際連合総会において採択された「持続可能な開発のための2030アジェンダ」はそんな世界の意味を表したものである。全17項目の中でも第13項目「気候変動に具体的な対策を」では温室効果ガス排出量増加に伴う地球温暖化へ早急な対策を打つことが求められている。温室効果ガスは世界では1990年と比較し50%以上増加しており、近年の温度上昇と深い関係があるのがよくわかる。日本においてこの発表を受けて二酸化炭素排出量の削減目標を設定している。しかし近年の二酸化炭素排出量は横ばいで成果が上がっているとは言えない。日本の排出量の内訳をみると産業部門が34%と最も多い。その産業分野に置ける建設業の二酸化炭素排出量は産業分野における約1/3である。以上のことより建設業における二酸化炭素排出量削減は非常に重要である。今回建設業で建設材料の中でも比較的多く使用されているセメントを取り上げ二酸化炭素排出量に関して分析を行う。二酸化炭素排出量と言っても原因として様々なものが考えられる。本研究では、Ehrlich Identity という恒等式を用いて多くの視点からそれぞれの程度影響があるのかを見ていく。影響の程度から解決策を考える際の参考とすることを目標とする。またそれぞれ異なる特徴をもった都道府県ごとにデータを見ていき特徴毎にクラスター分析によってクラスタリングを行いより適切な対策を考えていく。

1. Ehrlich Identity

今回評価基準として Ehrlich Identity という恒等式を応用したものを用いる。この恒等式は個々に独立した意味を持つ数式を組み合わせることで単位の整理をする。そうすることで独立した意味を持つそれらをつなぎ別の意味を持つ式とする特徴を持つ恒等式である。

Ehrlich Identity は以下のようにあらわされる。

$$I=PAT$$

I：環境負荷

P：人口

A：裕福度、豊かさ

T：技術

このように人口、裕福度豊かさ、技術という単位も意味も異なるデータを環境負荷という別の意味のものを表す

要素としている。

今回はこの Ehrlich Identity を応用して次の式を提案する。

$$I=PA_1A_2A_3T$$

I：環境負荷

P：人口

A₁：経済力を表す指標

A₂：建設投資を表す指標

A₃：資源消費を表す指標

T：資源消費に対する環境負荷

裕福度といっても様々なとらえ方ができる。この式では建設分野における環境負荷を評価するためにそもそもその経済力、そしてその経済力をその程度建設分野に使っているのか、その投資の中で資源消費にはどのくらい使われているのかという3つの要素からみる。多くの資源消費をすることはそれだけ裕福、豊かであると考え評価する。

そして技術ではその資源消費が現在の技術力ではどの程度環境へ影響があるのかというように考える。

今回はこの新たな式に以下のような要素を入れて評価を行う。

I：CO₂排出量

P：人口

A₁：GPP/P 一人当たりの経済力

A₂：CI/GPP GPP 当たりの建設投資割合

A₃：CC/CI 建設投資当たりのセメント消費量

T：CE セメント 1t 当たりの平均 CO₂ 排出量

GPP：県内総生産

CI：建設投資額

CC：セメント消費量

CE：セメント 1t 当たりの平均 CO₂ 排出量

CE の導出につきましては、セメントの種類ごとに 1t 当たりの CO₂ 排出量が異なる。今回はより生産するセメントによっての環境負荷の違いが反映されるよう各都道府県毎にセメントをスラグセメント、フライアッシュセメント、普通ポルトランドセメントの3種に分け、全生産量に対する各セメントの割合から各都道府県の 1t 当たりの平均 CO₂ 排出量を求めた。

$$\frac{SC}{CC} \times CO2s + \frac{FC}{CC} \times CO2f + \frac{CC - SC - FC}{CC} \times CO2p$$

CC：全セメント生産量、

SC：スラグセメントの生産量、

FC:フライアッシュセメントの生産量、
 CO_2s : スラグセメント 1t 当たりの CO_2 排出量 = 458.7kg/t
 CO_{2f} : フライアッシュセメント 1t 当たりの CO_2 排出量 = 624.0kg/t
 CO_{2p} : 普通ポルトランドセメント 1t 当たりの CO_2 排出量 = 766.6kg/t

3.使用するデータと分析方法

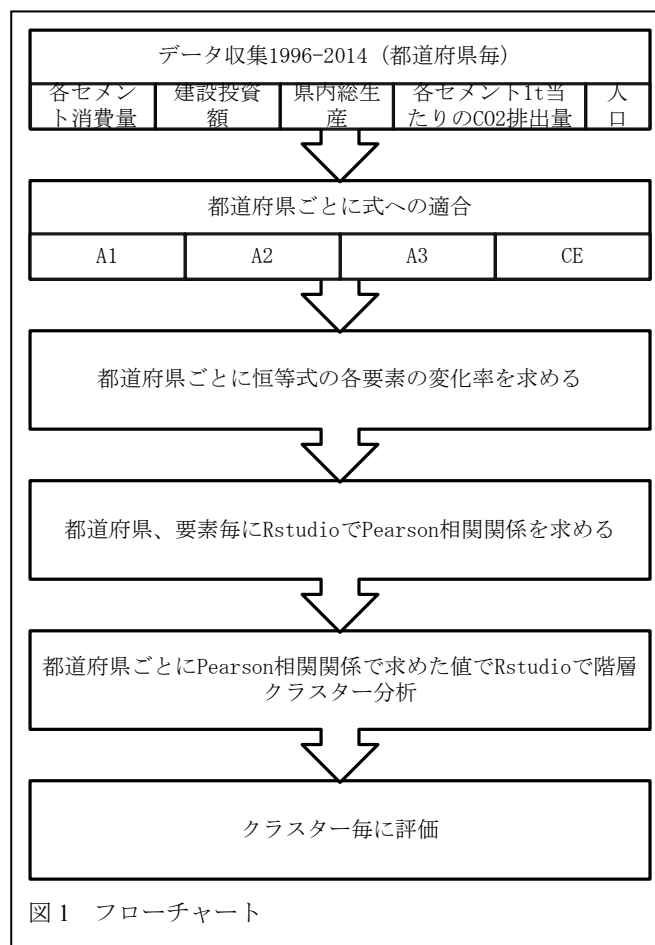
本稿で使用するデータは5つのデータである。P は総務省統計局統計データ、GPP は内閣府、統計データより、CE は国土交通省都道府県別建設投資の推移より、CC,FC,SC はセメント協会、統計データベースより、各 CO_2 排出量は土木学会発行のコンクリート構造物の環境性能照査指針より取得している。今回各 CO_2 排出量は各都道府県で生産に対する技術の差は存在しないと仮定して同一の値を用いた。

分析では1996-2014年間で各都道府県、各要素ごとに変化率を求め、それらをRstudioを用いてPearsonの相関関係と階層クラスター分析を行う。

図1に分析過程のフローチャートを示す。

1996-2014の時系列データを扱うため絶対値による評価であると各都道府県の絶対値の違いによる影響が大きく出てしまい時系列による変化を反映しにくいと考え絶対値ではなく変化率で評価を行う。

Iとその要素になっているP、A1、A2、A3、Tがどのような関係性があるのかを見るためPearson相関分析を



用いる。このことで各要素のIとの相関性が-1~1の値で表される。-1に近いほど負の相関性、1に近いほど正の相関性が強いこと、0に近いほど相関性が小さいことを示す。

クラスター分析の中でも階層クラスターを用いたのはより特殊な性質を持つ都道府県を分類しやすくするためである。非階層クラスターでは特殊な性質をもつものを一つのクラスターとして抽出が階層クラスターに比べ難しい。

今回の階層クラスターでは距離をユークリッド法、評価基準をMcQuitty法を用いている。クラスターには左から分類ごとにクラスター1、クラスター2、…クラスター7と命名する。

クラスター毎に各成分の平均をとる。平均をとることでそのクラスターの大まかな傾向が見て取れると考えた。

4.分析結果と考察

階層クラスターの結果を図2、各クラスターの要素の平均値、分類結果を図3に示す。以下各クラスターの特徴を考察していく。

・クラスター1

A3の正の影響が大きく、A1A2も正の影響を持っている。以上よりセメント使うコンクリート構造物ではなく鉄鋼、木材などを使用する構造物の建設が効果的なクラスターといえる。

・クラスター2

クラスター数21と最も多く値は全体の平均値とほとんど変わらない。

・クラスター3

経済力を挙げるために商業など建設以外の分野への投資が効果的なクラスターといえる。

・クラスター4

Pの負の影響が最も高くA1A2の正の影響が非常に大きい。以上より人口を増やすために現在の建設投資を既存の都市を開発、整備に使うといいクラスターといえる。

・クラスター5

Tokyo一つのみ。値だけ見るとA2建設投資をすればするほど環境負荷が減っている。経済力、投資当たりのセメント消費量は大きな影響力を持っている。以上より経済力、セメント消費量は上昇しているが建設投資額は一定であるためA1、A3が上昇するにもかかわらずA2の値が減少しこのような関係性になったのだと考えられる。よってクラスター5は東京であり都外から人は多く来ていて経済力、交通網はあるため東京都一つで考えるよりも周辺の都道府県との関係性の中で考えていくことが望ましいと考える。

・クラスター6

Ishikawaのみ。A3が0.93と最大値に近い値をとっているのに注目したい。他にもTの値も正の影響が最も大きくなっている。建設投資額自体は変化がないがその奥がセメントを使うインフラの整備に使われているのではないかと考える。以上よりセメントを使う建設を控えることが環境負荷に大きく影響するクラスターといえる

・クラスター7

T の正の影響が非常に大きい。以上より環境にやさしい混合セメントの利用がカギとなるクラスターといえる。

次に各成分ごとに I に対して影響があるのかを考えてい

全体の平均値 0.431 を見てもわかるように最も I に対して影響力を持っている。クラスター5,6 の 2 つのみで負の値をとっておりこのことがいかにこの二つが特殊かを表している。

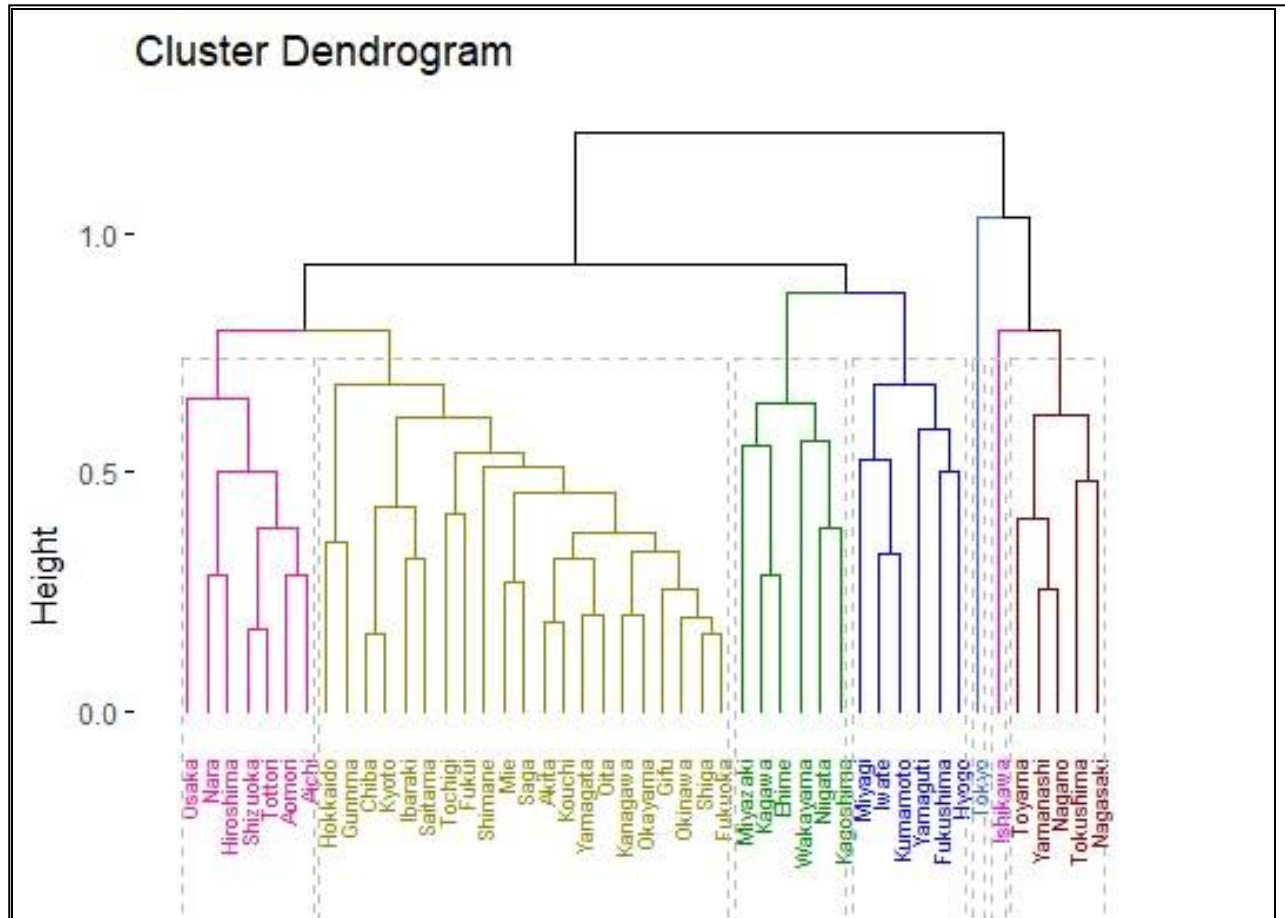


図 2 階層クラスター分析結果

	要素	数	P	A1	A2	A3	T
クラスター1	Osaka,Nara,Hiroshima,Shizuoka,Tottori,Aomori,Aichi	7	0.004	0.459	0.331	0.613	-0.030
クラスター2	Hokkaido,Gunma,Chiba,Kyoto,Ibaraki,Saitama,Tochigi Fukui,Shimane,Mie,Saga,Akita,Kouchi,Yamagata,Oita Kanagawa,Okayama,Gifu,Okinawa,Shiga,Fukuoka	21	-0.196	0.447	0.467	0.383	0.173
クラスター3	Miyazaki,Kagawa,Ehime,Wakayama,Niigata,Kagoshima	6	-0.110	0.097	0.478	0.222	-0.313
クラスター4	Miyagi,Iwate,Kumamoto,Yamanashi,Fukuoka,Hyogo	6	-0.327	0.658	0.747	-0.005	-0.115
クラスター5	Tokyo	1	-0.260	0.760	-0.410	0.610	0.220
クラスター6	Ishikawa	1	0.130	0.350	-0.120	0.930	0.750
クラスター7	Toyama,Yamanshi,Nagano,Tokushima,Nagasaki	5	-0.178	0.026	0.260	0.576	0.704
平均		47	-0.164	0.391	0.431	0.384	0.114

図 3 各クラスターの平均値

く。

・ P

負の影響のものが多くが影響自体はわずかなものがほとんどである。以上より人口は I に関して大きな影響を与えないと考えられる。

・ A1

平均値は 0.391 と影響自体は小さいが影響はある。県ごとに見ていくと 0.7 を超える非常に影響が大きいものはいくつか存在するものの多くは平均値程度に落ちている。

・ A2

・ A3

A3 も A1 と似たような形で 0.7 を非常に影響力が大きいものはいくつかあるが多くは平均値程度のものが多い。

・ T

平均値は 0.114 と全体ではほとんど影響がないように見える。しかし 5 つの要素の中で最も正負のばらつきが多く都道府県ごとに影響の方向性が異なっている。原因としてほかの要素と比べ T だけ変化率の幅が小さかったこと、P も小さかったが P は全体として減少傾向があったが T は正負どちらにも変化していたからだと考えられる。

全体を通して環境にやさしい混合セメントを促進していくといった手法よりもセメントを使う絶対量が減るように構造物を設計したり、メンテナンスを行い長い年月構造物を使うような維持管理に力を注ぐことが効果的であるといえる。

5. まとめ

クラスターの中には全国平均とは異なる特徴的な相関性が出ているものありクラスター毎の対策が打てると考えられる。

今後は分類したクラスター毎の将来予測を行いどのように値が推移するか見ていくことでその推移からより効果的な対策が取れるようにしていく。

6. 参考文献

- An Introduction to Sustainable Development
Peter P. Rogers、 Kazi F. Jalal、 John A. Boyd
- A framework for sustainability science: A renovated IPAT
identity P. E. Waggoner* and J. H. Ausubel† June 11, 2002
- わが国の「都市化率」に関する事実整理と考察
— 地域経済の視点から — 土屋宰貴
- Energy and material flows of megacities
Christopher A. Kennedy¹, Iain Stewart² et al.