

地域産業構造とエネルギー消費の要因分析： 河北省の事例

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡大学人文社会科学部 公開日: 2018-08-21 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 黄, 愛珍 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00025694

論 説

地域産業構造とエネルギー消費の要因分析 —河北省の事例—

黄 愛 珍

はじめに

中国経済は1978年の改革・開放路線以降、30年余りの急成長と工業化を經過して、2012年の下半期以降、高度成長から安定成長に転じ、「新常态¹」という新たな発展段階に突入した。非経済的要因²による1989年から1990年までの低成長期を除き、改革開放後から2009年まで、中国経済は年平均10%を超える成長率を維持し、世界の歴史においても類まれな「奇跡的な成長」を遂げてきた。

しかしながら、一方ではこうした経済の急成長と工業化による資源エネルギーの急増、及びそれに伴う環境汚染問題が世界から注目されている。特に、2001年WTO加盟後の5年間にわたって、鉄鋼、非鉄金属などエネルギー多消費型の素材産業における過剰投資、及び低付加価値製品の大量輸出に依存した成長パターンは多方面にわたる弊害をもたらした。低価格の中国製品の大量輸出により貿易摩擦が深刻化したのみならず、資源エネルギー浪費型の経済成長は世界的な資源価格高騰の元凶と批判されるとともに、資源エネルギー不足問題、さらに深刻な環境問題が表面化してきた。

こうした資源・環境制約が経済成長の重要な制約要因となっていると中国政府は認識し、第11次5カ年計画³（2006年～2010年）では、5年間でGDP単位当たりエネルギー消費量を20%削減⁴という拘束性目標を「計画」の綱要に初めて取り入れた。また、第12次5カ年計画（2011年～2015年）では、二酸化炭素排出原単位を17%削減⁵という拘束性目標を新たに追加した。これは従来の粗放型経済成長から省エネ・資源節約型、環境に配慮した成長方式への転換という政府の強い意志の表れである。

2000年以降、中国経済は急速な工業化が進み、経済の高度成長を支えてきたが、2008年のリー

¹ 中国政府が高度成長から中高速成長に移行した中国経済の姿を「新常态」と表現している。

² 1989年6月に天安門事件が起きた。

³ 中国は1949年建国以来、5年おきに「5カ年計画」を定めて、経済・社会の政策目標としてきた。

⁴ 第12次5カ年計画（2011年～2015年）では16%、第13次5カ年計画（2016年～2020年）では15%となっている。

⁵ 第13次5カ年計画（2016年～2020年）では18%となっている。

マンショック後、内外の経済減速に伴い、鉄鋼、石炭などの産業の設備過剰の深刻化に、労働力コストの上昇、環境破壊、資源エネルギーの制約などが加わり、産業構造の調整が重要な課題となっている。

この背景のもとで、本稿の目的は、産業構造の変化とエネルギー消費効率の変化の要因を明らかにし、中国経済の持続可能な発展に示唆を与えることである。

2016年の中国の第1次、2次、3次産業の対GDP構成比は、それぞれ8.6%、39.9%、51.6%となっている。2015年に第3次産業の構成比が初めて50%を超え、第3次産業が経済成長の最大の牽引役となった。一方、地域間の産業構造は発展の段階が異なっており、北京（0.5%、19.3%、80.2%）や上海（0.4%、29.8%、69.8%）のような第3次産業への構造転換が完成した地域もあれば、河北省（0.9%、47.6%、41.5%）のような、第2次産業が依然として成長の最大の原動力となっている地域も少なくない。なかでも、河北省は鉄鋼、石炭などの産業の設備過剰問題や環境問題が特に深刻であり、産業構造の転換と環境問題の解決という二重の課題に直面している。

本稿では、事例として河北省経済を対象に取り上げ、その産業構造の変化とエネルギー消費効率の変化の要因を明らかにし、中国経済の持続可能な発展に示唆を与え、さらに今後環境保全・省エネ型経済発展を志向する発展途上国にも参考になる示唆が得られると考えられる。

以下では、河北省の接続産業連関表⁶のデータを利用し、2007年から2012年にかけて、河北省の産業構造の変化及びエネルギー消費効率の変化が生じた原因を産業連関分析の手法を用いて、需要構造（消費構造）、貿易構造、技術構造等の要因に分解して考察する。Ⅰでは、河北省の産業構造の変化の状況を踏まえ、その変化の要因分析をし、Ⅱでは、河北省の化石燃料の消費の推移をみたうえで、化石燃料の消費効率の悪化の要因について考察していく。

Ⅰ. 産業構造の要因分析

1. 産業構造の変化

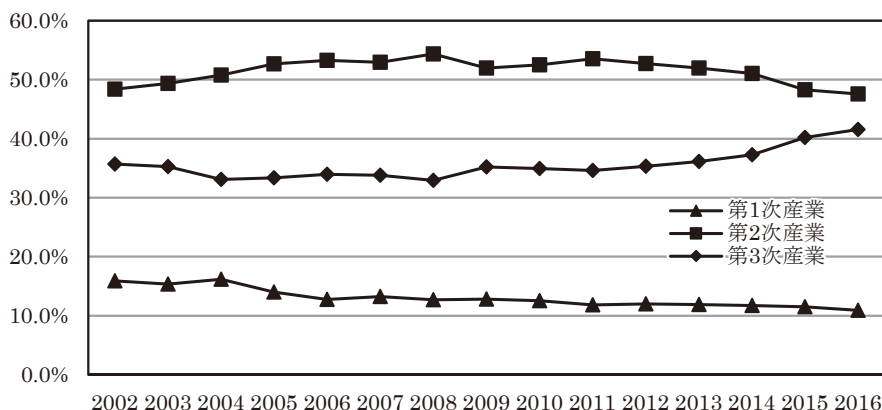
WTO加盟後の中国の経済成長は、2004年までの輸出投資主導型モデルの時代から、2005年から2009年までの内需主導型モデルへの転換期、そして2010年以降の内需主導型成長モデルの時代へと大きく変化している。

図1は河北省のGDPに対する第1次、2次、3次産業の構成比の推移を示したものである。これにより、第2次産業のシェア（対GDP 構成比）は2002年（48.2%）から2006年（53.3%）まで増加し続け、2007年には一旦52.9%へと減少したが、2008年には再び54.3%に増加し、ピークに

⁶ 筆者作成、詳細は拙稿（2018）を参照されたい。

達した。2009年になると、第2次産業のシェアは52.0%に減少した後、2011年まで緩やかに増加していき、2012年からは再び減少に転じた。その後、2016年（47.6%）まで減少を続けている。このように、この期間、中国経済の成長モデルの転換やリーマンショック後の世界経済の悪化など、内外環境が大きく変化したため、河北省の第2次産業のシェアは増減を繰り返している。それにもかかわらず、2004年から2014年まで連続11年間、第2次産業のシェアが50%を超えていることから、この間において、重化学工業化が進展し、高度化していることがうかがえる。また、2002年から2016年まで、第1次産業のシェアは15.9%から10.9%まで減少しており、逆に第3次産業のシェアは35.7%から41.5%まで増加しているが、この期間、河北省経済は第2次産業を支柱とする産業構造の特徴は変わらない。

図1 第1次、2次、3次産業の構成比の推移



出所) 中国国家统计局「National data」より筆者作成

2007年と2012年の産業構造の変化を部門別にみてみよう。表1の一番右側の列の「生産額の変化」は、地域全体（部門合計）の変化を100としたときの各部門の寄与度を示している。

第1次産業の農林水産業は年平均伸び率3.28%で伸びているものの、全産業に占めるシェアは2.58ポイントの減少となっている。一方、第3次産業のサービス業について、その他サービスのシェアは4.28ポイントの減少となったが、金融・保険業、運輸・通信、飲食業、商業のシェアはじわじわと拡大していることがわかる。

第2次産業について、内訳をみると、まず、鉱業の中で金属鉱物のシェアは3.69ポイント増加しており、全産業でシェアの拡大が最も大きい。年平均伸び率（33.2%）も非常に大きいので、地域全体の生産増に対する寄与率は11.99%に上り、金属精錬（鉄鋼、非鉄金属）に次ぎ、河北省経済を牽引する第2のリーディングセクターとなっている。また、石炭のシェアは1.75ポイント

表1 産業構造の変化

No.	項 目 部 門	構成比 (%)		構成比 の変化	年平均伸 び率(%)	生産額 の変化
		2007年	2012年	07～12年	07～12年	07～12年
1	農林水産業	9.44	6.86	-2.58	3.28	2.68
2	石炭	1.08	2.83	1.75	33.55	5.68
3	原油・天然ガス	1.36	0.45	-0.91	-11.74	-1.03
4	金属鉱物	2.32	6.01	3.69	33.20	11.99
5	非金属鉱物	0.45	0.37	-0.08	6.00	0.25
6	飲食料品	5.45	4.81	-0.64	7.38	3.78
7	繊維工業製品	2.53	2.22	-0.31	7.25	1.72
8	衣類・その他繊維既製品	1.86	1.91	0.05	10.63	1.99
9	木材加工・家具	2.18	0.54	-1.64	-16.69	-2.12
10	製紙・文教用具	1.22	1.29	0.07	11.26	1.40
11	石油・石炭製品	3.07	3.45	0.38	12.70	4.07
12	化学製品	5.79	5.76	-0.03	9.96	5.70
13	窯業・土石製品	4.63	2.58	-2.05	-2.05	-0.74
14	金属精錬	14.62	16.49	1.87	12.77	19.51
15	金属製品	1.97	3.32	1.36	22.26	5.52
16	一般機械	3.75	3.52	-0.23	8.71	3.15
17	輸送機械	1.56	2.37	0.80	19.62	3.67
18	電気機械	1.69	2.39	0.70	17.98	3.52
19	情報・通信機器	0.22	0.49	0.27	29.74	0.93
20	計量・計測器	0.10	0.10	-0.01	8.76	0.09
21	その他製造工業製品	0.40	0.05	-0.35	0.00	-0.51
22	廃棄物処理	0.18	0.27	0.09	19.32	0.41
23	電力・熱供給	3.68	3.33	-0.36	7.87	2.75
24	ガス	0.08	0.15	0.07	25.04	0.26
25	水道	0.06	0.06	0.00	9.63	0.05
26	建設	6.05	7.15	1.10	13.83	8.93
27	運輸・郵便	5.86	6.20	0.34	11.34	6.76
28	商業	2.94	3.19	0.26	11.94	3.61
29	飲食業	0.79	1.07	0.28	16.95	1.52
30	金融・保険業	1.73	2.21	0.48	15.65	2.99
31	不動産業	1.71	1.61	-0.10	8.76	1.45
32	その他サービス	11.24	6.96	-4.28	0.02	0.02
部 門 合 計		100.00	100.00	0.00	10.09	100.00

出所) 接続産業連関表のデータより筆者作成。

増加し、金属鉱物、金属精錬に次ぎ、シェアの拡大が全産業で第3位となっている。年平均伸び率(33.55%)が全産業の中で最も大きく、地域全体の生産増に対する寄与も第6位に上り、河北省経済における石炭の地位が高まってきたといえよう。また見方を変えれば、石炭のシェアの拡大は、石炭がより多く消費され、河北経済の石炭依存度が高まったともいえる。次に、建設業に

ついて、2007年に比べ2012年のシェアが1.10ポイント増加し、域内生産に対する寄与率は全産業で第3位となっている。急速な工業化や都市化の進展に伴い、不動産建設や道路、鉄道などのインフラ建設が増加していることがうかがえる。

最後に、製造業の中で、金属精錬（鉄鋼、非鉄金属）、金属製品といったエネルギー多消費産業のシェアの拡大が大きいことがわかる。なかでも、金属精錬（鉄鋼、非鉄金属）は、2007年から2012年へのシェアの拡大（1.87ポイント）が製造業でトップ、全産業で第2位となっている。また、2012年のシェア（16.49%）が全産業で一番高く、域内生産増に対する寄与率（19.51%）も飛び抜けて高い。金属精錬は河北省経済を大きく牽引している第1のリーディングセクターとなっている。

全体的にみると、農林水産業、及び木材加工・家具、飲食料品、繊維工業等の軽工業のシェアが縮小し、金属鉱物、金属精錬、石炭、金属製品、輸送機械、電気機械、石油・石炭製品、情報・通信機器等、エネルギーを含む重化学工業のシェアが拡大していることが特徴としてみられ、工業化、都市化の進展に伴う河北省の産業構造の高度化がうかがえる。

2. 産業構造の変化の要因分析

本節では、産業構造の変化を産業連関分析の枠組で行う。産業構造の変化の分析手法としては、チェネリーが最初に示したDPG分析（Deviation from Proportional Growth：比例成長からの乖離）がよく利用される。DPG分析は、産業構造が変化しなかった、すなわち各産業が一定の比率（ λ ）で比例的に成長したという仮想状態を基準にして、各産業の実際の成長（現実の産業構造）との乖離を産業ごとに計算し、それがどのような要因で発生したのかを明らかにする手法である。

金・長谷部（2012）では、DPG分析は、各産業の実際の成長と比例的成長との乖離から、経済成長の要因をみるのに対して、 $\lambda = 1$ による要因分解は、すべての産業の成長そのものの要因をみることで、より現実的な解釈が可能である、と述べている。本稿では河北省地域全体の生産額の変化そのものに対する各要因がどれだけ寄与しているかを分析することに重点を置き、金・長谷部（2012）の分析手法を参考に、 $\lambda = 1$ による要因分解法を用いることにした。

2.1 分析手法

一般に、地域産業連関分析では、地域の生産は、最終需要（消費、投資などの域内最終需要、移輸出）によって直接・間接に誘発されると考え、以下の競争移輸入型地域均衡産出高モデルに示される。

$$X = [I - (I - \hat{M})A]^{-1}[(I - \hat{M})F^d + E] \quad (1)$$

ここで、 X は域内生産ベクトル、 I は単位行列、 A は投入係数行列、 $\hat{M}$ は移輸入係数行列（域内

需要に占める移輸入係数の対角行列), $(I - \hat{M})$ は域内自給率, F^d は域内最終需要ベクトル, E は移輸出ベクトル, $[I - (I - \hat{M})A]^{-1}$ はレオンチェフ逆行列を表している.

要因分析とは, ある期間における域内生産の変化分を, 消費, 投資, 移輸出などの最終需要の変化と移輸入係数の変化, 投入係数の変化に帰着させ, 各要因が域内生産の変化に対してどのくらい寄与しているかを明らかにするものである.

(1)式より, 2007年の域内生産 X_{07} と2012年の域内生産 X_{12} を以下のように表せる.

$$\begin{aligned} X_{07} &= [I - (I - \hat{M}_{07})A_{07}]^{-1}[(I - \hat{M}_{07})F_{07}^d + E_{07}] = B_{07}[(I - \hat{M}_{07})F_{07}^d + E_{07}] \\ X_{12} &= [I - (I - \hat{M}_{12})A_{12}]^{-1}[(I - \hat{M}_{12})F_{12}^d + E_{12}] = B_{12}[(I - \hat{M}_{12})F_{12}^d + E_{12}] \end{aligned}$$

各変数の添え字07は2007年のもの, 添え字12は2012年のものであることを示している.

2007年から2012年にかけて, 域内生産の変化 ΔX は, 以下のように要因分解できる¹.

$$\begin{aligned} \Delta X = X_{12} - X_{07} &= B_{12}(I - \hat{M}_{12})(F_{12}^d - F_{07}^d) + B_{12}(E_{12} - E_{07}) \\ &\quad - B_{12}(\hat{M}_{12} - \hat{M}_{07})(F_{07}^d + A_{07}X_{07}) + B_{12}(I - \hat{M}_{12})(A_{12} - A_{07})X_{07} \end{aligned} \quad (2)$$

(2)式の右辺の第1項は域内最終需要の要因(域内最終需要の変化), 第2項は移輸出の要因(移輸出の変化), 第3項は移輸入代替の要因(移輸入係数の変化), 第4項は技術の要因(投入係数の変化)を表している. また, 域内最終需要は, 農村家計消費, 都市家計消費, 政府消費, 投資, 在庫純増の需要項目の合計であるから, 第1項の域内最終需要の要因をさらに各需要項目の要因に分解することができる.

また, (2)式は2012年のレオンチェフ逆行列(B_{12})を用いて要因分解をしているが, 2007年のレオンチェフ逆行列(B_{07})を用いても, 次のように要因分解できる.

$$\begin{aligned} \Delta X = X_{12} - X_{07} &= B_{07}(I - \hat{M}_{07})(F_{12}^d - F_{07}^d) + B_{07}(E_{12} - E_{07}) \\ &\quad - B_{07}(\hat{M}_{12} - \hat{M}_{07})(F_{12}^d + A_{12}X_{12}) + B_{07}(I - \hat{M}_{07})(A_{12} - A_{07})X_{12} \end{aligned} \quad (3)$$

(2)式と(3)式の2つの要因分解モデルは, 基準を2007年に置くか, 2012年に置くかという技術的問題であり, どちらが優れているかという理論的根拠は特になく, 本稿では, 多くの先行研究と同様に, (2)式と(3)式の平均値を計算結果として用いることにした.

2.2 分析結果

上記の分析方法を用いて, 要因分解を行った結果を表2に示した. 表2の1列目に示されている「域内生産額の変化」の数値は, 2007年と2012年の河北省地域全体の生産額の変化 $\Delta X = 100$ として, 相対化して表示しており, 地域全体の生産額の変化に対する各部門の寄与率を表している. 表2の2列目以降の数値は地域全体の生産額の変化に対して各部門各要因がどれだけ寄与しているのか, 部門別要因別の寄与率を表している.

部門全体(部門合計)から河北省の経済成長の要因をみると, まず, 2007年から2012年まで,

経済成長の主要因は移輸入代替（移輸入依存度の低下，域内生産依存度の上昇）であり，域内生産増加の約77％が移輸入代替によってもたらされたことがわかる．表2の「移輸入代替の要因」の列をみると，ほとんどの産業において移輸入代替が進んでおり，なかでも金属精錬（鉄鋼，非鉄金属）の移輸入代替効果が目立って大きい．そのほか，石炭，化学製品，石油・石炭製品，金属鉱物，金属製品など，エネルギー部門を含む重化学工業部門における移輸入代替が進んでいることが特徴としてみて取れる．次に，プラス成長要因として寄与しているのは投資（25.47％）と都市家計消費（8.84％）であり，政府消費（2.27％），農村家計消費（2.07％），投入係数の変化という技術要因（0.80％）もプラス要因となっているが，ほかの要因に比べると小さい．

表2 域内生産の要因分解

項 目 部 門	域内生産 額の変化	需要構造の要因（最終需要の変化）						移輸入代 替の要因	技術要因
		農村家計 消費	都市家計 消費	政府消費	固定資本 形成	在庫純増	移輸出	移輸入係 数の変化	投入係数 の変化
農林水産業	2.68	0.24	0.90	0.16	1.13	1.22	-4.11	4.39	-1.24
石炭	5.68	-0.02	0.17	0.03	0.41	-0.51	-0.82	6.62	-0.20
原油・天然ガス	-1.03	0.01	0.01	0.01	0.08	-0.29	-0.78	0.22	-0.30
金属鉱物	11.99	0.05	0.13	0.01	0.95	0.16	2.47	5.96	2.26
非金属鉱物	0.25	-0.01	0.01	0.00	0.26	0.00	-0.40	-0.08	0.46
飲食物品	3.78	-0.18	0.64	0.02	0.11	0.08	-0.93	3.41	0.64
繊維工業製品	1.72	-0.05	-0.14	0.00	0.02	-0.03	1.12	1.09	-0.30
衣類・その他繊維既製品	1.99	0.12	0.60	0.00	0.03	-0.10	1.47	0.58	-0.71
木材加工・家具	-2.12	0.07	0.04	0.01	-0.25	-0.02	-1.80	0.05	-0.21
製紙・文教用具	1.40	0.27	0.24	0.06	0.11	0.00	-1.25	1.05	0.93
石油・石炭製品	4.07	0.05	0.25	0.10	0.46	-2.17	0.67	5.93	-1.22
化学製品	5.70	0.20	0.33	0.03	0.76	0.12	-2.95	6.52	0.68
窯業・土石製品	-0.74	-0.14	0.07	0.00	1.31	0.29	-4.59	1.35	0.98
金属精錬	19.51	0.16	0.46	0.02	3.65	-0.03	0.99	11.63	2.63
金属製品	5.52	0.15	0.29	0.01	0.80	-0.11	0.17	5.68	-1.46
一般機械	3.15	0.02	0.03	0.01	0.54	-0.13	-0.79	3.96	-0.48
輸送機械	3.67	0.10	0.25	0.01	1.02	0.06	1.24	1.57	-0.58
電気機械	3.52	0.14	0.64	0.01	0.65	0.04	-0.42	1.53	0.93
情報・通信機器	0.93	0.02	0.05	0.00	0.07	0.01	0.09	0.66	0.03
計量・計測器	0.09	0.00	0.00	0.00	0.02	-0.01	-0.08	0.20	-0.05
その他製造工業製品	-0.51	0.00	0.03	0.00	0.01	0.03	-0.48	-0.15	0.05
廃棄物処理	0.41	0.02	0.03	0.01	0.03	0.01	-0.17	0.50	-0.01
電力・熱供給	2.75	0.10	0.52	0.08	0.62	-0.01	-0.59	2.22	-0.21
都市ガス供給	0.26	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.05	0.26	-0.06
水道	0.05	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	-0.17	0.20
建設	8.93	-0.04	0.10	0.00	10.27	0.00	-0.14	-1.22	-0.04
運輸・郵便	6.76	0.05	0.41	1.05	0.61	-0.04	0.54	3.88	0.24
商業	3.61	-0.06	-0.16	0.01	0.57	-0.11	2.45	1.75	-0.85
飲食業	1.52	0.04	0.31	0.04	0.09	0.00	0.19	1.51	-0.66
金融・保険業	2.99	-0.03	1.27	0.89	0.23	-0.03	-0.27	-0.49	1.42
不動産仲介・管理業	1.45	0.09	0.42	0.02	0.12	0.00	-1.00	1.75	0.04
その他サービス	0.02	0.68	0.95	-0.33	0.74	-0.02	-4.79	4.89	-2.11
部 門 合 計	100.00	2.07	8.84	2.27	25.47	-1.60	-14.90	77.05	0.80

一方、マイナス成長要因となっているのは移輸出（-14.90％）と在庫純増（-1.60％）であり、なかでも移輸出のマイナス寄与が大きい。2008年のリーマンショックや2011年の欧州債務危機の影響による世界経済の低迷を受け、移輸出の減少が河北省の経済にマイナス影響を与えたと考えられる。

全体として、移輸出の減少によるマイナス影響は無視できないものの、移輸入代替のプラス効果が目立って大きく、この期間の河北省経済成長に貢献した最も重要な要因となっている。また、投資の拡大や消費の増加（とりわけ都市家計消費の増加）といった内需拡大も経済成長の重要な要因となってきている（図2）。

図2 域内生産変化の要因別寄与率（％）

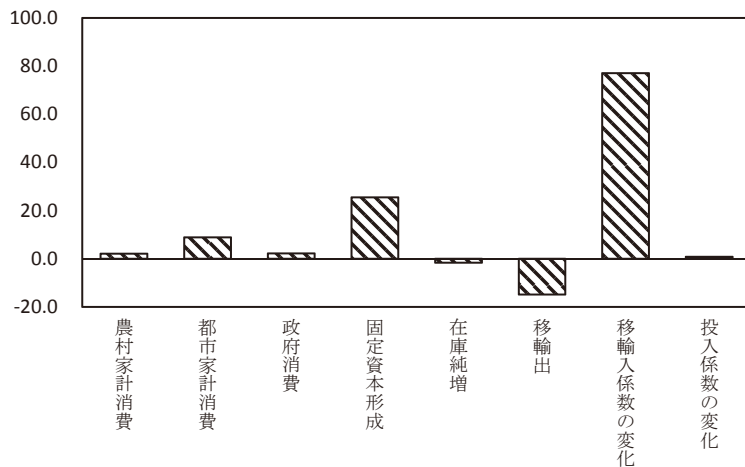
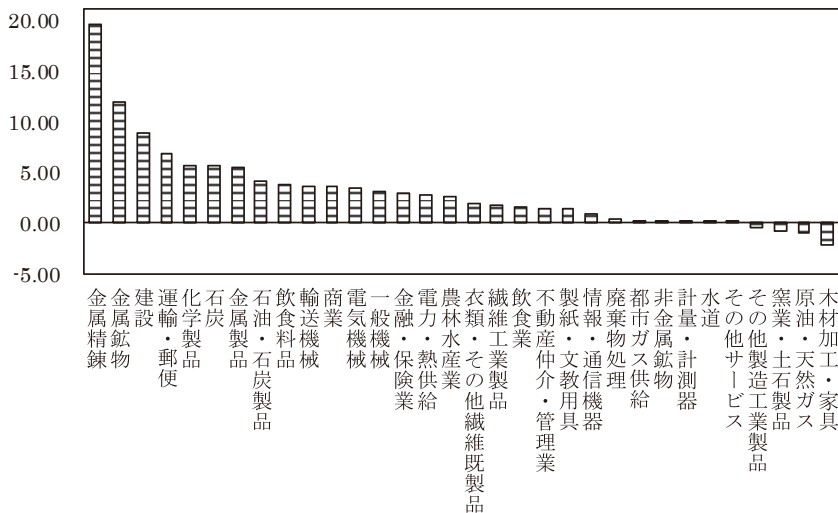


図3は、表3の第1列目の域内生産額の変化に対する部門別寄与率をわかりやすく図示したものである。これによると、2007年から2012年まで、ほとんどの産業において生産の増加がみられ、河北省経済の成長にプラスに寄与していることがわかる。地域生産額の増加に対する寄与率が最も大きい部門は鉄鋼、非鉄金属といった金属精錬（19.51％）であり、次に金属鉱物（11.99％）、建設（8.93％）、運輸・通信（6.76％）、化学製品（5.70％）、石炭（5.68％）、金属製品（5.52％）、石油・石炭製品（4.07％）の順となっており、エネルギー部門を含む重化学工業の生産増加が河北省経済に大きく貢献していることが特徴としてみてとれる。

次に、寄与率の大きい順で、部門別の成長要因をみてみよう。表3より、寄与率の最も高い金属精錬（鉄鋼、非鉄金属）の成長要因については、移輸入代替の効果（11.63％）が目立っており、全体の約6割を説明している。次いで重要な成長要因は投資構造（3.63％）、技術の要因（2.63％）となっている。金属鉱物については、成長要因の約半分は移輸入代替の効果（5.96％）

によって説明され、次いで大きいプラス要因として、移輸出構造 (2.47%) と技術の要因 (2.26%) があげられる。建設業については、その成長要因は専ら投資によってもたらされている。それ以外の重化学工業の成長要因は移輸入代替が一番重要な要因となっている。このように、この期間の河北省経済において、移輸入代替による重化学工業の成長と投資の拡大による建設業の伸びが非常に目立っていることが特徴として捉えられる。

図3 域内生産変化の部門別寄与率 (%)



II. 化石燃料消費効率の要因分析

エネルギー消費効率を評価する際に、ある部門の生産に直接投入されるエネルギーの消費量は省エネ技術の水準を示す重要な直接指標であるが、それに加えて間接的な波及過程も考慮した地域全体の経済システムのエネルギー消費効率を評価することも重要である。産業連関表は、技術構造、産業構造、消費構造、貿易構造等の情報を含んでいるので、全体的なエネルギー消費効率を評価する一つの方法として、産業連関表を利用することが有効である。本稿は大久保・浅利 (1996)、金・長谷部 (2012) が用いた方法を参考に、河北省の化石燃料消費効率の変化の要因について考察する。

1. エネルギー消費の現状

中国のエネルギー消費量が拡大し続けており、特にWTO加盟後の伸び率が顕著で、2003年から2005年にかけて3年間連続10%を超える高い伸び率となった。その後、伸び率は鈍化したもの

の、2016年、中国のエネルギー消費量は43.6億tce（標準石炭換算トン、1 tce=0.7toe石油換算トン）に達するまで増加し、世界の約23%を占めている。中国の実質GDP単位当たりのエネルギー消費量は、2004年時点、米国の4倍、ドイツの8倍、日本の11倍となっており、中国のエネルギー消費効率が非常に低いことがわかる。また、2016年の一次エネルギー消費に占める石炭の比率は62.0%に低下したものの、依然として石炭を中心とするエネルギー消費構造となっている。モータリゼーションや都市化の進展に伴い、一人当たりのエネルギー消費量の増加が続き、今後、さらなるエネルギー需要の拡大が予想される。

河北省のエネルギー消費量は2015年時点で約3億tceに上り、うち86.6%を石炭が占めており、石炭過度依存のエネルギー消費構造となっている。また、2013年の中国の実質GDP単位当たりのエネルギー消費量は0.79tce/万元であるのに対して、河北省は1.3tce/万元、北京は0.46tce/万元、天津は0.71tce/万元となっており、河北省のエネルギー消費効率が非常に悪いことがわかる。

2. 化石燃料消費量の推移

2007-2012年接続産業連関表のデータから、河北省地域内の化石燃料の消費動向⁷をみておく。表3の数字は、物価の変動を取り除いた実質データを利用しているので、数量ベースの変化を意味している。

ここでは、化石燃料消費部門として、「石炭」、「原油・天然ガス」、「石油・石炭製品」、「電力・熱供給」、「都市ガス・熱供給」の5部門を指す。表3から、化石燃料の消費量を合計でみると、2007年から2012年にかけて増加していることがわかる。うち、域内企業の生産活動に必要な原燃料としての中間需要はかなり増加している一方、家計消費など最終需要の化石燃料消費量が減少している。化石燃料消費量を燃料別にみると、石炭と原油・天然ガスは、最終需要が減少しているものの、中間需要が大きく増加したため、総需要が増加している。これに対し、石油・石炭製品は、最終需要の減少が中間需要の増加を上回って、総需要が減少している。一方、電力・熱供給と都市ガス・熱供給については、中間需要と最終需要とともに増加した結果、総需要が増加している。

表3 河北省の化石燃料消費量の推移

	化石燃料合計			石炭			原油・天然ガス			石油・石炭製品			電力・熱供給			都市ガス・熱供給		
	総 需要	中間 需要	最終 需要	総 需要	中間 需要	最終 需要	総 需要	中間 需要	最終 需要	総 需要	中間 需要	最終 需要	総 需要	中間 需要	最終 需要	総 需要	中間 需要	最終 需要
2007年	9,046	6,613	2,433	1,957	1,673	283	996	734	262	3,695	2,049	1,646	2,297	2,090	207	101	66	34
2012年	11,101	9,941	1,160	2,904	2,847	57	1,242	1,241	1	3,301	2,535	765	3,525	3,232	293	129	86	43
変化分	2,055	3,328	-1,273	948	1,174	-226	246	507	-261	-394	486	-881	1,228	1,142	86	28	19	9

出所) 接続産業連関表のデータより筆者作成

⁷ 本稿では、エネルギー消費を化石燃料に限定して分析している。

3. 化石燃料の消費効率の要因分析

3.1 化石燃料誘発係数の導出

一般に、産業連関分析では、最終需要が直接・間接に生産を誘発するという関係を重視するが、本分析では、ある時点の最終需要が直接・間接にどれくらいの石炭、原油、石炭・石油製品などの化石燃料部門の生産や移輸入を誘発するかという関係に着目する。化石燃料の効率性に関する異時点の時系列比較分析のための基本指標としては化石燃料誘発係数を用いる。これは誘発された化石燃料の生産額を域内最終需要の総額で除して得られる。

I で示した下記競争移輸入型地域均衡産出高モデルをもとに、化石燃料誘発係数を導出していく。

$$X = [I - (I - \hat{M})A]^{-1}[(I - \hat{M})F^d + E] = B[(I - \hat{M})F^d + E]$$

化石燃料部門の生産額だけを集計するために、化石燃料部門のみが1、他は0である集計行ベクトルを ρ とおくと、化石燃料誘発額は以下のように求められる。

$$\rho X = \rho B[(I - \hat{M})F^d + E]$$

したがって、化石燃料誘発係数 IP は以下の式で導出される。

$$IP = \rho X / \sigma F^d = \rho B[(I - \hat{M})F^d + E] / \sigma F^d \quad (4)$$

ここで、 σ はすべての要素が1である集計行ベクトルである。

この化石燃料誘発係数を用いて、異時点の化石燃料の消費効率を比較することができるだけでなく、その係数の変化（差）を最終需要構造の要因（域内最終需要合計に占める各需要項目の部門別支出の構成比の変化）、移輸入代替の要因（移輸入係数の変化）、技術の要因（投入係数の変化：財の生産はどのような原材料の組み合わせで行うかという生産技術構造の変化）とに要因分解して分析を行うことができる。大久保・浅利（1996）、金・長谷部（2012）などの先行研究では、化石燃料誘発係数の変化を、最終需要構造の要因と投入構造の変化という技術要因の2つの要因に部分分解しているが、本稿では、移輸入代替が2007年から2012年までの河北省経済成長の主要因となっていることから、化石燃料誘発係数の変化の要因を、最終需要構造の要因（域内最終需要構造、移輸出構造）、移輸入代替の要因、技術の要因に完全に分解している。

3.2 分析方法1…全体の要因分析

上記(4)式より、2007年の化石燃料誘発係数 IP_{07} と2012年の化石燃料誘発係数 IP_{12} は、それぞれ以下のように表すことができる。

$$IP_{07} = \rho B_{07}[(I - \hat{M}_{07})F_{07}^d + E_{07}] / \sigma F_{07}^d = \rho B_{07}(I - \hat{M}_{07})f_{07}^d + \rho B_{07}e_{07}$$

$$IP_{12} = \rho B_{12}[(I - \hat{M}_{12})F_{12}^d + E_{12}] / \sigma F_{12}^d = \rho B_{12}(I - \hat{M}_{12})f_{12}^d + \rho B_{12}e_{07}$$

$$\text{ただし、} f_{07}^d = F_{07}^d / \sigma F_{07}^d \quad f_{12}^d = F_{12}^d / \sigma F_{12}^d \quad e_{07} = E_{07} / \sigma F_{07}^d \quad e_{12} = E_{12} / \sigma F_{12}^d$$

2007年から2012年への化石燃料誘発係数の変化は、以下のように要因分解することができる⁸。

$$\begin{aligned}\Delta IP &= IP_{12} - IP_{07} = \rho\{B_{12}(I - \hat{M}_{12})f_{12}^d - B_{07}(I - \hat{M}_{07})f_{07}^d\} + \rho\{B_{12}e_{12} - B_{07}e_{07}\} \\ &= \rho B_{12}(I - \hat{M}_{12})(f_{12}^d - f_{07}^d) + \rho B_{12}(e_{12} - e_{07}) - \rho B_{12}(\hat{M}_{12} - \hat{M}_{07})(f_{07}^d + A_{07}x_{07}) \\ &\quad + \rho B_{12}(I - \hat{M}_{12})(A_{12} - A_{07})x_{07}\end{aligned}\quad (5)$$

ただし、 $x_{07} = B_{07}(I - \hat{M}_{07})f_{07}^d + B_{07}e_{07}$

(5)式の右辺の第1項は域内最終需要構造の要因、第2項は移輸出構造の要因、この2項を合わせて最終需要構造の要因、第3項は移輸入代替の要因、第4項は技術の要因を表している。

また、域内最終需要は農村家計消費、都市家計消費、政府消費、投資、在庫純増の5つの項目から構成されていることから、域内最終需要構造の要因を、この5つの項目別の最終需要構造の要因に分けることができる。

さらに、最終需要構造の要因を、支出シェアの要因（各最終需要の部門別支出シェアの変化）と需要構成の要因（域内最終需要の合計に占める各最終需要の合計の構成比の変化）に分けて分析することができる。例えば、家計消費Cを例に説明すると、家計消費構造 f_i^c （域内最終需要の合計 σF^d に占める家計消費の部門別支出 C_i の構成比）を以下のように書き換えることができる。

$$f_i^c = C_i / \sigma F^d = C_i / \sigma C \times \sigma C / \sigma F^d \quad i = 1, \dots, 32 \quad (6)$$

(6)式の右辺の第1項は支出シェア（家計消費の部門別支出シェア）、第2項は需要構成（域内最終需要の合計に占める家計消費の合計の構成比）を表す。したがって、上述した要因分解の方法と同様に、家計消費構造の変化を支出シェアの変化と需要構成の変化に分けることができる。

また、(5)式は2012年の逆行列を利用しているが、(7)式のように2007年の逆行列を用いた要因分解もできる。ここでは、(5)式と(7)式の平均値を計算結果として利用した。

$$\begin{aligned}\Delta IP &= IP_{12} - IP_{07} = \rho\{B_{12}(I - \hat{M}_{12})f_{12}^d - B_{07}(I - \hat{M}_{07})f_{07}^d\} + \rho\{B_{12}e_{12} - B_{07}e_{07}\} \\ &= \rho B_{07}(I - \hat{M}_{07})(f_{12}^d - f_{07}^d) + \rho B_{07}(e_{12} - e_{07}) - \rho B_{07}(\hat{M}_{12} - \hat{M}_{07})(f_{12}^d + A_{12}x_{12}) \\ &\quad + \rho B_{07}(I - \hat{M}_{07})(A_{12} - A_{07})x_{12}\end{aligned}\quad (7)$$

ただし、 $x_{12} = B_{12}(I - \hat{M}_{12})f_{12}^d + B_{12}e_{12}$

3.3 分析方法2…部門別分析

前節の分析方法1は、化石燃料誘発係数の変化を最終需要構造（各域内最終需要と移輸出）の要因、移輸入代替の要因と技術の要因に要因分解し、2007年から2012年にかけての化石燃料誘発係数の変化が、全体としてそれぞれどの要因によってどの程度説明されるのか、を総論的に分析する手法である。本節の分析手法2では、化石燃料誘発係数の変化の要因ごとに、各産業部門が

⁸ (5)式の導出方法はIの産業構造の要因分解の方法と同じ、詳細は文末の「技術注」を参照されたい。

化石燃料の消費効率の変化にどの程度貢献したのか、部門ごとの貢献度を調べようとしている。

(1) 最終需要構造の分析

最終需要構造の分析では、「もし、ある最終需要項目の構成比が、2007年のものから2012年のものへと変化したら…」と想定して、最終需要構造について、各産業部門の貢献度を調べることができる。

具体的には、他の要因を一定にして、ある最終需要項目の構成比を部門ごとに2007年のものから2012年のものへ変化させた場合、その部門の構成比のウェイトの変化が、化石燃料誘発係数をどの程度変化させるかを、部門別に順次計算していく。

例えば、域内最終需要項目の一つである都市家計消費の場合、都市家計消費の部門別構成比のうち、ある部門のウェイトのみを2007年から2012年へと変化させた場合、化石燃料誘発係数に対して、どのように影響するかを、部門ごとに明らかにすることができる。これによって、都市家計の消費スタイルが、省エネ型の消費構造になっているのか、あるいはエネルギー多消費型の消費構造になっているのかを分析できる。

(2) 移輸入代替の分析

移輸入代替の分析では、各部門の移輸入係数の変化が化石燃料誘発係数の変化にどの程度影響を及ぼしているかを調べようとしている。

具体的には、他の要因を一定にして、ある一つの部門の移輸入係数を2007年のものから2012年のものへ変化させた場合、化石燃料誘発係数をどの程度変化させるかを、部門別に順次計算していく。これは、「もしその部門の移輸入係数だけが、2007年のものから2012年のものへと変化したら、化石燃料誘発係数にどう影響するか」を意味している。

計算手続きとしては、移輸入係数行列 ($\hat{M}$) の第1列目から順番に2007年のものを2012年のものへ変化させて、部門ごとに化石燃料誘発係数を計算し、変化前と比較していく。これによって、部門ごとの移輸入係数の変化の化石燃料の消費効率への貢献度を明らかにすることができる。

(3) 技術要因の分析

技術要因の分析では、投入係数の変化という技術構造の要因を部門ごとにみて、生産技術や生産方法などの技術の変化で、各部門が化石燃料誘発係数の変化にどの程度影響を及ぼしたのか、を分析することができる。

具体的には、他の要因を一定にして、ある一つの部門の投入係数を、2007年のものから2012年のものへと変化させた場合、化石燃料誘発係数をどの程度変化させるかを、部門別に順次計算していく。これは「もしその部門の生産技術だけが、2007年のものから2012年のものへと変化したら、化石燃料誘発係数にどう影響するか」を意味している。

計算手続きとしては、投入係数行列 (A) の第1列目から順番に2007年のものを2012年のもの

へと変化させて、部門ごとに化石燃料誘発係数を計算し、変化前と比較していく。これによって、部門ごとの投入構造の変化が化石燃料の消費効率への貢献度を明らかにすることができる。

4. 分析結果

4.1 化石燃料誘発係数の変化と全体の要因分析

分析方法 1 によって、2007年から2012年にかけて、河北省の化石燃料誘発係数の変化及びその変化の全体的な要因分析を行うと、表 4 のような結果が得られた。

表 4 化石燃料誘発係数の変化

項 目	誘発係数		係数の差	需要構造の要因						移輸入代替の要因	技術要因
	IP_1 2007年	IP_2 2012年	$\Delta IP = IP_2 - IP_1$	農村家計消費	都市家計消費	政府消費	固定資本形成	在庫純増	移輸出	移輸入係数の変化	投入係数の変化
石炭	0.03178	0.08378	0.05200	-0.00163	0.00020	-0.00046	0.00140	-0.00931	-0.03338	0.09858	-0.00339
原油・天然ガス	0.04014	0.01334	-0.02681	-0.00007	-0.00027	-0.00006	0.00034	-0.00532	-0.02048	0.00303	-0.00399
石油・石炭製品	0.09036	0.10194	0.01158	-0.00016	0.00148	-0.00023	0.00175	-0.03959	-0.02267	0.09010	-0.01909
電力・熱供給	0.10849	0.09835	-0.01014	-0.00072	0.00004	-0.00157	0.00194	-0.00021	-0.03890	0.03204	-0.00277
都市ガス・熱供給	0.00231	0.00439	0.00207	-0.00032	-0.00035	-0.00002	0.00002	-0.00002	-0.00013	0.00380	-0.00090
化石燃料合計	0.27309	0.30180	0.02870	-0.00290	0.00110	-0.00233	0.00545	-0.05446	-0.11556	0.22754	-0.03014

表 4 から、まず、化石燃料誘発係数は2007年の0.27309から2012年の0.30180へと、化石燃料の消費効率が約10.5%悪化していることがわかる。この5年間の消費効率の悪化（係数の差0.02870）の内訳としては、移輸入代替の要因によるものが0.22754、最終需要構造の要因によるもの（合計）が-0.16870、技術の要因によるものが-0.03014となっている。移輸入代替の要因は化石燃料の消費効率の悪化に対して83.3%と大きくプラス寄与し、逆に、最終需要構造の要因（-61.8%）と技術の要因（-11.0%）は消費効率の悪化にマイナス寄与し、すなわち化石燃料の消費効率の改善に寄与していることがわかる。

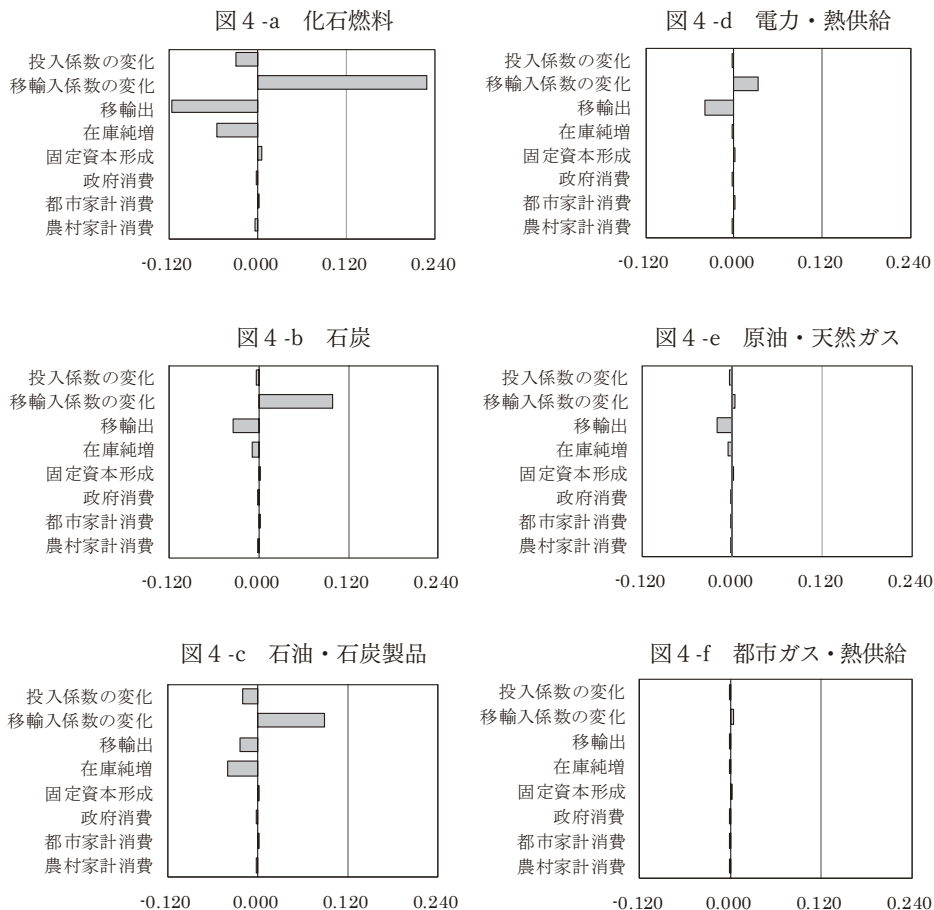
次に、最終需要構造の変化による化石燃料の消費効率の改善（-0.16870）の内訳をみると、消費効率の改善に大きく寄与しているのは移輸出構造の変化（-0.11556）、次に、在庫構造の変化（-0.05446）となっている。農村家計消費構造の変化（-0.00290）と政府消費構造の変化（-0.00233）は消費効率の改善に寄与しているものの、移輸出に比べて寄与率が非常に小さい。最終需要構造の要因による化石燃料の消費効率の改善のうち、68.5%が移輸出構造の変化という外因、32.3%が在庫構造の変化という構造調整要因によってもたらされたことがわかる。逆に、最終需要構造のうち、化石燃料の消費効率の悪化に寄与しているのは、投資構造の変化（0.00545）と都市家計消費構造の変化（0.00110）となっている。中国経済は内需主導型成長モデルへの方向転換を実施

しており、モータリゼーションや都市化の進行に伴い、投資の拡大や所得増による都市家計消費の増加によって、エネルギー需要が更に拡大していくと予想される。今後、投資や都市家計消費など、最終需要面での省エネ対策が重要視していくべきである。

燃料別に化石燃料誘発係数の変化(0.02870)をみると、化石燃料の消費効率の悪化に最も寄与しているのは石炭(0.05200)であり、次に石油・石炭製品(0.01158)、都市ガス・熱供給(0.00207)となっている。反対に、消費効率の改善に寄与しているのは原油・天然ガス(-0.02681)と電力・熱供給(-0.01014)である。この期間、河北省経済は、石炭、石油・石炭製品がより多く消費され、エネルギーの消費構造は、石炭依存の構造になっていることがうかがえる。

図4は燃料別に化石燃料誘発係数の変化の要因をグラフに示したものである。化石燃料の消費効率の悪化に大きく寄与している石炭(図4-b)と石油・石炭製品(図4-c)については、化石燃料(図4-a)と同じ、消費効率の悪化の最大要因は移輸入代替であり、投資構造の変化と都市

図4 化石燃料誘発係数の変化(燃料別要因別)



家計消費構造の変化もわずかながら消費効率の悪化に寄与している。一方、都市ガス・熱供給（図4-f）の場合は、誘発係数の変化そのものが石炭、石油・石炭製品に比べて非常に小さいが、消費効率の悪化の最大の要因はやはり移輸入代替である。反対に、化石燃料の消費効率の改善に寄与している電力・熱供給（図4-d）と原油・天然ガス（図4-e）については、消費効率の改善の主因は移輸出の減少になっている。

以上の分析より、全体として化石燃料誘発係数の変化の要因をみたとき、また石炭、原油・天然ガス、石油・石炭製品、電力・熱供給、都市ガス・熱供給の燃料ごとにみても、移輸入代替の要因が化石燃料の消費効率の悪化の最大要因であり、技術の要因と最終需要構造の要因は逆に消費効率の改善に寄与していることがわかる。また、最終需要構造の要因のうち、消費効率の改善に寄与しているのは主に移輸出の減少と在庫の減少であり、投資構造と都市家計消費構造の変化は逆に消費効率の悪化に寄与していることが特徴としてみられる。

次に、最終需要構造の要因を、支出シェアの変化と需要構成の変化という2つの要因に分解し、2007年から2012年にかけての最終需要構造の特徴について考察する。

要因分解の結果を表5に示している。表5の上段は、2007年から2012年にかけて、化石燃料誘発係数の変化のうち、最終需要構造の要因によるものを表わしている。最終需要構造の要因によるもののうち、支出シェアの変化によるものは表の中段、需要構成の変化によるものは、表の下段にそれぞれ示している。

表5より、まず、最終需要の合計からみると、2007年から2012年まで、最終需要構造の要因による化石燃料誘発係数の変化は-0.16870であり、化石燃料の消費効率の改善に大きく寄与している。その内訳として需要構成の変化（-0.14513）が約86%、支出シェアの変化（-0.02357）が約24%となっている。消費、投資、移輸出の需要項目別にみても、同じ傾向がみられ、全般として需要構成の変化が支出シェアの変化を上回って、需要構造変化の支配的な要因となっている。

2007年から2012年にかけて、域内最終需要の合計に占める各最終需要の合計の構成比という需要構成についてみると、投資9.6%と都市家計消費0.5%が拡大しているのに対し、移輸出-61.8%、在庫純増-4.4%、政府消費-3.5%、農村家計消費-2.2%は縮小している。興味深いのは、需要構成が拡大している需要項目では、最終需要構造の変化が化石燃料の消費効率の悪化に寄与し、逆に需要構成が縮小している需要項目では、最終需要構造の変化が化石燃料の消費効率の改善に寄与しているという関係がみられる。

次に、最終需要項目別に最終需要構造の要因の特徴をみてみよう。化石燃料の消費効率の改善に最も寄与しているのは、移輸出構造の要因（-0.11556）であり、その内訳としては、支出シェアの変化によるもの（0.00531）が-4.6%、需要構成の変化によるもの（-0.12087）が104.6%となっている。支出シェアの変化が消費効率の悪化をもたらしているものの、需要構成の変化が消

費効率の改善に大きく寄与し、移輸出構造の要因による消費効率の改善は専ら需要構成の変化によることがわかる。これは2008年のリーマンショックなど世界経済の悪化などにより、2007年から2012年にかけて、移輸出の需要構成が-61.2%と大幅に減少したからだと考えられる。一方、最終需要構造の要因のうち、化石燃料の消費効率の悪化に貢献している需要項目は、投資と都市家計消費があげられる。投資の場合、需要構造の変化による消費効率の悪化（0.00545）の内訳としては、需要構成の変化によるもの（0.00655）が120.2%、支出シェアの変化によるもの（-0.00110）が-20.2%となっている。投資の需要構造の要因による消費効率の悪化は専ら需要構成の変化によることがわかる。これに対して、都市家計消費の需要構造の変化による消費効率の悪化（0.00110）の内訳としては、需要構成の変化によるもの（0.00066）が60%、支出シェアの変化によるもの（0.00044）が40%となっている。需要構成の変化とともに支出シェアの変化も消費効率の悪化に大きく貢献していることが、移輸出構造や投資構造にはみられない都市家計消費の構造の特徴である。都市家計消費の構造は、化石燃料多消費型消費構造になってきていることを意味している。

表5 最終需要構造要因の内訳

項目	最終需要構造の要因						
	農村家計消費	都市家計消費	政府消費	固定資本形成	在庫純増	移輸出	最終需要合計
石炭	-0.00163	0.00020	-0.00046	0.00140	-0.00931	-0.03338	-0.04318
原油・天然ガス	-0.00007	-0.00027	-0.00006	0.00034	-0.00532	-0.02048	-0.02585
石油・石炭製品	-0.00016	0.00148	-0.00023	0.00175	-0.03959	-0.02267	-0.05943
電力・熱供給	-0.00072	0.00004	-0.00157	0.00194	-0.00021	-0.03890	-0.03942
都市ガス・熱供給	-0.00032	-0.00035	-0.00002	0.00002	-0.00002	-0.00013	-0.00082
化石燃料合計	-0.00290	0.00110	-0.00233	0.00545	-0.05446	-0.11556	-0.16870

項目	支出シェアの変化						
	農村家計消費	都市家計消費	政府消費	固定資本形成	在庫純増	移輸出	最終需要合計
石炭	-0.00101	0.00008	0.00004	-0.00030	-0.00457	-0.00619	-0.01195
原油・天然ガス	0.00002	-0.00029	0.00008	0.00001	-0.00284	-0.00908	-0.01210
石油・石炭製品	0.00027	0.00137	0.00064	-0.00007	-0.02149	0.01958	0.00030
電力・熱供給	0.00035	-0.00035	-0.00016	-0.00071	0.00058	-0.00002	-0.00031
都市ガス・熱供給	-0.00019	-0.00037	0.00004	-0.00002	0.00001	0.00101	0.00048
化石燃料合計	-0.00056	0.00044	0.00065	-0.00110	-0.02831	0.00531	-0.02357

項目	需要構成の変化						
	農村家計消費	都市家計消費	政府消費	固定資本形成	在庫純増	移輸出	最終需要合計
石炭	-0.00063	0.00012	-0.00050	0.00170	-0.00474	-0.02719	-0.03124
原油・天然ガス	-0.00008	0.00003	-0.00014	0.00033	-0.00248	-0.01140	-0.01375
石油・石炭製品	-0.00043	0.00011	-0.00088	0.00183	-0.01810	-0.04226	-0.05973
電力・熱供給	-0.00107	0.00039	-0.00140	0.00265	-0.00080	-0.03888	-0.03911
都市ガス・熱供給	-0.00013	0.00002	-0.00006	0.00004	-0.00003	-0.00115	-0.00130
化石燃料合計	-0.00234	0.00066	-0.00298	0.00655	-0.02615	-0.12087	-0.14513

4.2 化石燃料誘発係数の変化の部門別分析

分析方法2に基づいて、要因ごとに計算した部門別の化石燃料誘発係数の変化の結果を表6に示している。表6のデータをもとに計算した部門別要因別の寄与率は表7になっている。

表6の第1列目は化石燃料誘発係数の部門別変化、第2列目以降は最終需要構造の要因、移輸入代替の要因及び技術の要因の各要因の部門別変化を示している。同様に、表7の第1列目は化石燃料誘発係数の変化に対する部門別寄与率、第2列目以降は最終需要構造の要因、移輸入代替の要因及び技術の要因の要因ごとの部門別寄与率を示している。

表6と表7の分析結果より、2007年から2012年にかけて、河北省経済全体の化石燃料誘発係数は0.02870増加し、5年間で化石燃料の消費効率は10.51%悪化している。消費効率の悪化に83.32%と大きく寄与している要因は移輸入代替であり、最終需要構造の要因（-61.77%）と技術の要因（-11.04%）は逆に、消費効率の改善に寄与していることがわかる。

以下では、各要因別に、化石燃料の消費効率の変化に対する部門別貢献についてみていく。

(1) 最終需要構造の部門別分析

表6と表7をみると、まず、最終需要の合計からみて、最終需要構造の要因による化石燃料誘発係数の変化は、部門合計で-0.16870となっている。2007年から2012年にかけての化石燃料誘発係数の変化（0.02870）に対する寄与率は-61.77%に達し、この期間の化石燃料の消費効率の改善に大きく貢献していることがわかる。最終需要構造の変化による消費効率の改善に対する寄与率の大きかった部門は、石油・石炭製品（-21.01%）、金属精錬（-8.1%）、原油・天然ガス（-6.36%）、窯業・土石製品（-5.38%）、石炭（-5.29%）があげられる。最も寄与率の大きかった石油・石炭製品部門では、消費効率の改善の主な要因は在庫の減少という構造調整要因となっている一方、その他の部門では、移輸出の減少という外因が消費効率の改善の主因となっている。逆に、最終需要構造の変化による消費効率の悪化に大きく寄与している部門としては建設（2.37%）と金属鉱物（1.95%）があげられる。建設部門では消費効率の悪化の主因は投資の増大であり、金属鉱物では移輸出の増加が消費効率の悪化の主因となっている。全体として、最終需要構造の要因のうち、移輸出構造の要因（移輸出減）が化石燃料の消費効率の改善に一番大きく貢献していることがわかる。

以下、最終需要構造の要因のうち、消費効率の改善に対する大きく寄与している移輸出と在庫純増、及び消費効率の悪化に寄与している投資と都市家計消費の各需要項目について、それぞれの部門別の貢献度についてみていく。

まず、移輸出構造の要因による化石燃料の消費効率の改善（-42.31%）を部門別にみると、寄与率の大きかった部門は、金属精錬（-8.18%）、原油・天然ガス（-6.32%）、窯業・土石製品（-5.50%）、石炭（-4.06%）、化学製品（-3.95%）があげられる。リーマンショックなどの影響

により、鉄鋼、非鉄金属、セメント、化学製品などの重化学工業製品や一次エネルギーの移輸出が大きく減少したことが、化石燃料の消費効率の改善に大きく寄与したと考えられる。また、在庫構造の変化による化石燃料の消費効率の改善（-19.94%）を部門別にみると、寄与率が圧倒的に大きかった部門は石油・石炭製品（-20.31%）である。河北省経済における石油・石炭製品が各部門の中間財（原燃料）として多く需要され、石油・石炭製品の在庫が大幅に取り崩されたことによって化石燃料消費の節約に貢献したと考えられる。

次に、投資構造の変化による化石燃料の消費効率の悪化（1.99%）に対する寄与率の大きかった部門は建設部門（2.5%）であり、2007年から2012年の5年間において、不動産投資やインフラ投資が多く行われたことが考えられる。また、都市家計消費の構造の変化による化石燃料の消費

表6 部門別化石燃料誘発係数の変化の要因分析

項 目 部 門	化石燃料 誘発係数 の変化	最終需要構造の要因							移輸入代 替の要因 移輸入係 数の変化	技術要因 投入係数 の変化
		最終需要 合計	農村家計 消費	都市家計 消費	政府消費	固定資本 形成	在庫純増	移輸出		
農林水産業	-0.00325	-0.00483	0.00000	-0.00006	0.00008	0.00068	0.00128	-0.00682	0.00211	-0.00053
石炭	0.05414	-0.01445	-0.00138	-0.00007	0.00000	0.00000	-0.00190	-0.01109	0.07264	-0.00406
原油・天然ガス	-0.03086	-0.01738	0.00000	-0.00050	0.00000	0.00000	0.00039	-0.01727	-0.01296	-0.00053
金属鉱物	0.01793	0.00531	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00064	0.00468	0.00809	0.00453
非金属鉱物	-0.00007	-0.00028	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-0.00005	-0.00023	-0.00038	0.00059
飲食物品	-0.00286	-0.00426	-0.00050	-0.00010	0.00000	0.00000	-0.00001	-0.00364	0.00251	-0.00111
繊維工業製品	0.00148	-0.00237	-0.00021	-0.00066	0.00000	0.00000	-0.00005	-0.00144	0.00182	0.00203
衣類・その他繊維既製品	0.00032	0.00031	0.00003	0.00027	0.00000	0.00000	-0.00011	0.00012	0.00045	-0.00044
木材加工・家具	-0.00173	-0.00416	0.00004	-0.00003	0.00000	-0.00081	-0.00004	-0.00332	-0.00019	0.00263
製紙・文教用具	-0.00061	-0.00203	0.00034	0.00014	0.00000	0.00000	-0.00003	-0.00248	0.00092	0.00049
石油・石炭製品	0.04418	-0.05738	0.00004	0.00162	0.00000	0.00000	-0.05547	-0.00357	0.09625	0.00531
化学製品	0.00066	-0.01076	0.00015	-0.00028	0.00000	0.00000	0.00017	-0.01080	0.01014	0.00129
窯業・土石製品	-0.01283	-0.01469	-0.00056	-0.00002	0.00000	0.00000	0.00092	-0.01503	0.00262	-0.00076
金属精錬	-0.03692	-0.02212	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00023	-0.02235	0.01644	-0.03124
金属製品	0.00936	-0.00043	0.00018	0.00022	0.00000	-0.00016	-0.00032	-0.00036	0.00966	0.00013
一般機械	-0.00084	-0.00708	0.00001	-0.00010	0.00000	-0.00240	-0.00037	-0.00422	0.00740	-0.00115
輸送機械	0.00367	0.00176	0.00009	0.00020	0.00000	0.00119	0.00014	0.00013	0.00200	-0.00009
電気機械	0.00059	-0.00092	0.00016	0.00078	0.00000	0.00011	0.00011	-0.00207	0.00153	-0.00002
情報・通信機器	0.00024	-0.00004	0.00001	0.00000	0.00000	0.00003	0.00003	-0.00012	0.00089	-0.00062
計量・計測器	0.00015	-0.00020	0.00000	-0.00001	0.00000	-0.00001	-0.00002	-0.00017	0.00031	0.00005
その他製造工業製品	-0.00107	-0.00102	-0.00001	0.00001	0.00000	0.00000	0.00004	-0.00105	-0.00029	0.00023
廃棄物処理	0.00160	-0.00010	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00002	-0.00012	0.00055	0.00115
電力・熱供給	0.00356	-0.00199	-0.00037	-0.00034	0.00000	0.00000	0.00000	-0.00128	-0.00712	0.01268
都市ガス供給	0.00326	-0.00015	-0.00039	-0.00046	0.00000	0.00000	0.00000	0.00071	0.00366	-0.00025
水道	-0.00060	0.00000	0.00000	-0.00001	0.00000	0.00000	0.00000	0.00001	-0.00049	-0.00011
建設	0.00595	0.00648	-0.00010	0.00005	0.00000	0.00683	0.00000	-0.00030	-0.00211	0.00158
運輸・郵便	-0.00383	-0.00405	-0.00008	0.00031	0.00126	-0.00015	0.00004	-0.00543	0.00515	-0.00492
商業	-0.00144	0.00030	-0.00010	-0.00024	0.00000	0.00000	-0.00009	0.00073	0.00041	-0.00214
飲食業	0.00076	0.00026	-0.00010	-0.00002	0.00000	0.00000	0.00000	0.00038	0.00197	-0.00146
金融・保険業	-0.00110	0.00126	-0.00020	0.00095	0.00084	0.00000	0.00000	-0.00033	-0.00159	-0.00077
不動産仲介・管理業	-0.00021	-0.00052	-0.00009	-0.00004	0.00000	-0.00004	0.00000	-0.00034	0.00046	0.00016
その他サービス	-0.02093	-0.01318	0.00014	-0.00048	-0.00451	0.00018	0.00000	-0.00851	0.00469	-0.01244
部 門 合 計	0.02870	-0.16870	-0.00290	0.00110	-0.00233	0.00545	-0.05446	-0.11556	0.22754	-0.03014

表7 化石燃料誘発係数の変化の要因別部門別寄与率(%)

項 目 部 門	化石燃料 誘発係数 の変化	最終需要構造の要因							移輸入代 替の要因	技術要因
		最終需要 合計	農村家計 消費	都市家計 消費	政府消費	固定資本 形成	在庫純増	移輸出	移輸入係 数の変化	投入係数 の変化
農林水産業	-1.19	-1.77	0.00	-0.02	0.03	0.25	0.47	-2.50	0.77	-0.19
石炭	19.82	-5.29	-0.51	-0.03	0.00	0.00	-0.70	-4.06	26.60	-1.49
原油・天然ガス	-11.30	-6.36	0.00	-0.18	0.00	0.00	0.14	-6.32	-4.74	-0.19
金属鉱物	6.57	1.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	1.71	2.96	1.66
非金属鉱物	-0.03	-0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.08	-0.14	0.22
飲食物品	-1.05	-1.56	-0.18	-0.04	0.00	0.00	-0.01	-1.33	0.92	-0.41
繊維工業製品	0.54	-0.87	-0.08	-0.24	0.00	0.00	-0.02	-0.53	0.67	0.74
衣類・その他繊維既製品	0.12	0.11	0.01	0.10	0.00	0.00	-0.04	0.04	0.16	-0.16
木材加工・家具	-0.63	-1.53	0.01	-0.01	0.00	-0.30	-0.02	-1.22	-0.07	0.96
製紙・文教用具	-0.22	-0.74	0.13	0.05	0.00	0.00	-0.01	-0.91	0.34	0.18
石油・石炭製品	16.18	-21.01	0.02	0.59	0.00	0.00	-20.31	-1.31	35.24	1.94
化学製品	0.24	-3.94	0.05	-0.10	0.00	0.00	0.06	-3.95	3.71	0.47
窯業・土石製品	-4.70	-5.38	-0.21	-0.01	0.00	0.00	0.34	-5.50	0.96	-0.28
金属精錬	-13.52	-8.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	-8.18	6.02	-11.44
金属製品	3.43	-0.16	0.07	0.08	0.00	-0.06	-0.12	-0.13	3.54	0.05
一般機械	-0.31	-2.59	0.00	-0.04	0.00	-0.88	-0.13	-1.54	2.71	-0.42
輸送機械	1.34	0.64	0.03	0.07	0.00	0.44	0.05	0.05	0.73	-0.03
電気機械	0.22	-0.34	0.06	0.29	0.00	0.04	0.04	-0.76	0.56	-0.01
情報・通信機器	0.09	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	-0.04	0.33	-0.23
計量・計測器	0.06	-0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.06	0.11	0.02
その他製造工業製品	-0.39	-0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	-0.39	-0.11	0.09
廃棄物処理	0.58	-0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	-0.04	0.20	0.42
電力・熱供給	1.30	-0.73	-0.14	-0.13	0.00	0.00	0.00	-0.47	-2.61	4.64
都市ガス供給	1.19	-0.05	-0.14	-0.17	0.00	0.00	0.00	0.26	1.34	-0.09
水道	-0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.18	-0.04
建設	2.18	2.37	-0.04	0.02	0.00	2.50	0.00	-0.11	-0.77	0.58
運輸・郵便	-1.40	-1.48	-0.03	0.11	0.46	-0.06	0.01	-1.99	1.89	-1.80
商業	-0.53	0.11	-0.04	-0.09	0.00	0.00	-0.03	0.27	0.15	-0.78
飲食業	0.28	0.10	-0.04	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.14	0.72	-0.54
金融・保険業	-0.40	0.46	-0.07	0.35	0.31	0.00	0.00	-0.12	-0.58	-0.28
不動産仲介・管理業	-0.08	-0.19	-0.03	-0.02	0.00	-0.02	0.00	-0.12	0.17	-0.06
その他サービス	-7.66	-4.83	0.05	-0.18	-1.65	0.07	0.00	-3.12	1.72	-4.55
部 門 合 計	10.51	-61.77	-1.06	0.40	-0.85	1.99	-19.94	-42.31	83.32	-11.04

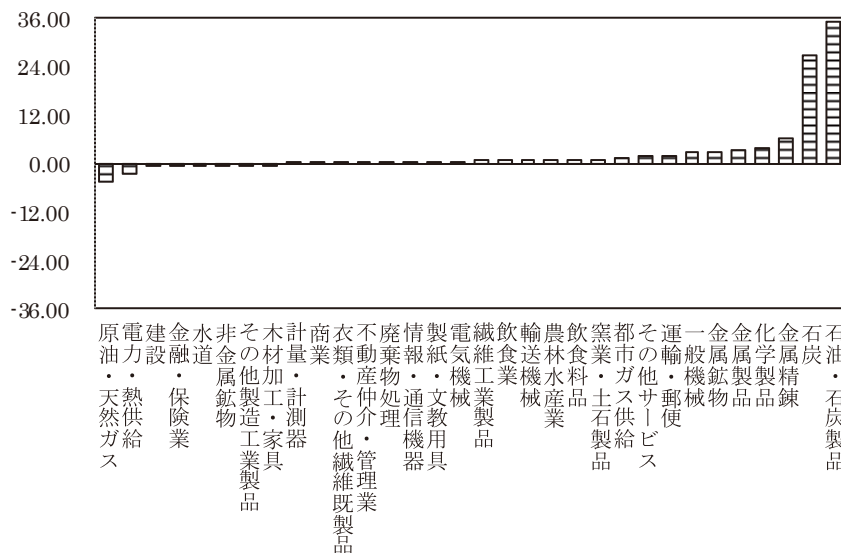
効率の悪化に対する寄与率は0.4%であり、現時点での寄与率はそれほど大きくない。しかし、域内最終需要の合計に占める都市家計消費の合計の構成比が増大していること、同時に都市家計消費の支出シェアも化石燃料多消費型になっていることを考慮すると、今後、都市化の進展とともに所得の増加による都市家計消費の増加に伴い、化石燃料の消費効率の悪化に対する寄与率が増加していくと予想される。都市家計消費構造の変化による消費効率の悪化に一番大きく寄与している部門は、石油・石炭製品(0.59%)となっており、逆に原油・天然ガス(-0.18%)、都市ガス・熱供給(-0.17%)、電力・熱供給(-0.13%)、石炭(-0.03%)の各部門は、化石燃料の消費効率の改善に寄与している。河北省経済の都市家計消費の構造は化石燃料のうち、特に石油・石炭製品多消費型構造となっていることがわかる。

(2) 移輸入代替要因の部門別分析

2007年から2012年にかけて、河北省の化石燃料誘発係数の増加に最も寄与しているのは移輸入代替の要因であり、化石燃料の消費効率の悪化（10.51％）に対する寄与率は83.32％と目立って大きい。

図5をみると、移輸入代替の要因による化石燃料の消費効率の悪化に対する寄与率の際立って大きかった部門は、石油・石炭製品35.24％、石炭26.6％があげられる。次いで金属精錬（6.02％）、化学製品（3.71％）、金属製品（3.54％）、金属鉱物（2.96％）、一般機械（2.71％）の順となっている。エネルギー部門や重化学工業部門を中心に、移輸入代替が大きく進展していることが考えられる。移輸入依存度の低下と域内生産依存度の上昇により、中間財（生産の原燃料）としての化石燃料、なかでも石油・石炭製品と石炭の投入が大きく増大し、河北省の化石燃料の消費効率の悪化の最も重要な要因となっていることがうかがえる。

図5 移輸入代替要因の部門別寄与率（％）

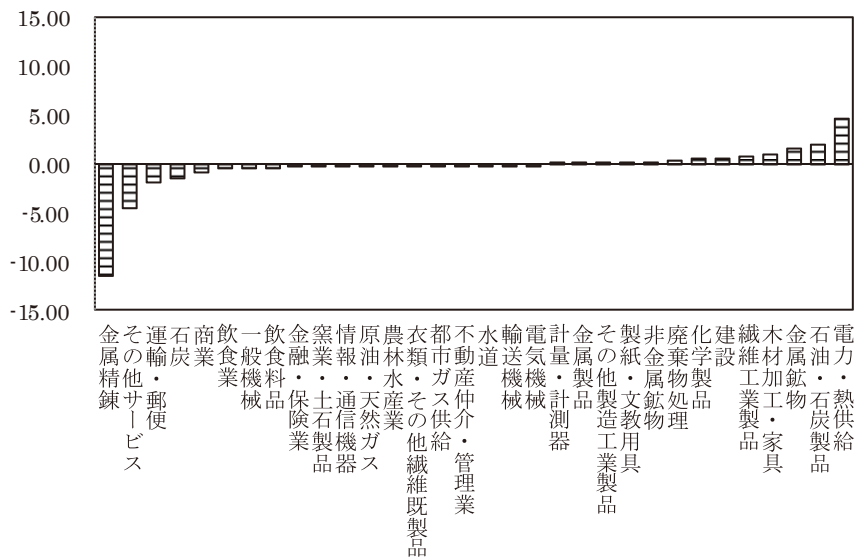


(3) 技術要因の部門別分析

2007年から2012年にかけて、技術の要因（投入係数の変化）は、化石燃料の消費効率の改善に約11％寄与している。部門別に投入構造の変化という技術の要因が、化石燃料の消費効率の改善にどの程度寄与したのかを分かりやすくグラフに示したのが図6である。これにより、化石燃料の消費効率の改善に対する寄与率の大きい部門は、金属精錬があげられる。河北省において、鉄鋼、非鉄金属といった金属精錬部門では、老朽設備の淘汰や省エネ型生産技術の採用などの技術

面での改善が進んでいると考えられる。逆に，化石燃料の消費効率の悪化に大きく寄与している部門は電力・熱供給と石油・石炭製品の二次エネルギー加工部門及び金属鉱物部門があげられる。化石燃料部門のうち，石炭，原油・天然ガス，都市ガス・熱供給の部門での投入構造の変化はわずかでありながら，消費効率の改善に貢献している。これに対して，電力・熱供給と石油・石炭製品の二次エネルギー加工部門での投入構造の変化は，消費効率の悪化に貢献している。電力・熱供給と石油・石炭製品の二次エネルギー加工部門での省エネ技術の導入や生産方法の改善などがあまり進んでいないことがうかがえる。

図 6 技術要因の部門別寄与率（％）



以上，化石燃料の消費効率の変化に対する部門別貢献度を要因ごとに分析してきた。最後に，各要因の総合結果として，全体からみて，どの産業部門が化石燃料の消費効率の変化に対して，どの程度，どんな要因で寄与しているのかについて考察していく。

図 7 は化石燃料誘発係数の変化に対する部門別寄与率をわかりやすく図示したものである。これによると，2007年から2012年にかけて，河北省経済全体の化石燃料の消費効率の悪化（誘発係数の増加）に対する寄与率の大きかった部門は，石炭19.82％（移輸入代替）⁹，石油・石炭製品16.18％（移輸入代替，技術）があげられる。次いで，金属鉱物6.57％（移輸入代替，移輸出，技術），金属製品3.43％（移輸入代替，技術），建設2.18％（投資，技術），輸送機械1.34％（移輸入

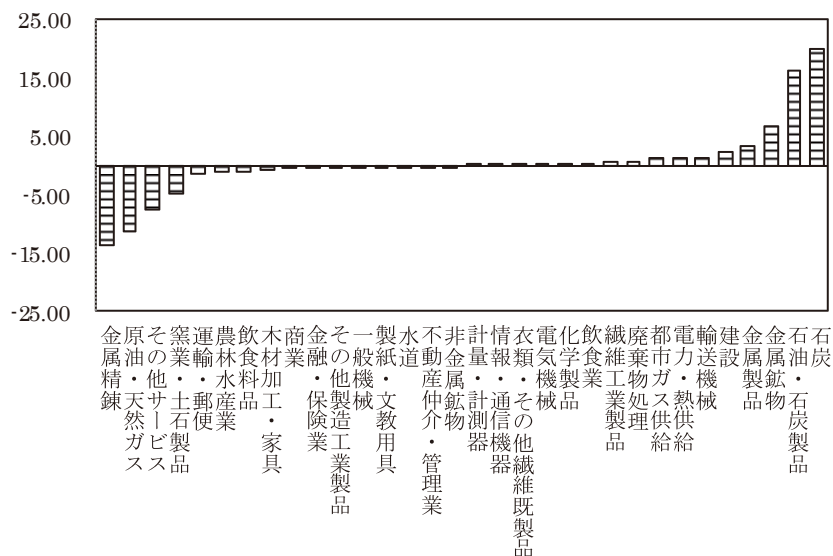
⁹ 括弧内の項目は主要要因を示す。寄与率と主要要因については表 7 を参照している。

代替, 投資), 電力・熱供給1.19% (技術) となっている。なかでも, 移輸入代替の要因による石炭と石油・石炭製品部門の寄与率が非常に目立っている。石炭と石油・石炭製品が原燃料の中間投入として多くの部門に需要されていることを表している。また, 石油・石炭製品と電力・熱供給の二次エネルギー加工部門と金属鉱物, 金属製品, 建設などの部門での技術要因が, 化石燃料の消費効率の悪化にプラス寄与している特徴がみられ, これらの部門における省エネの改善に力を入れるべきである。

逆に, 化石燃料の消費効率の改善 (誘発係数の減少) に最も寄与しているのは, 金属精錬-13.52% (技術, 移輸出), 次いで, 原油・天然ガス-11.3% (移輸出, 移輸入代替), その他サービス-7.66% (技術, 移輸出), 窯業・土石製品-4.7% (移輸出) となっている。なかでも, 老朽設備の淘汰や省エネ技術の改善など技術の要因による金属精錬 (鉄鋼, 非鉄金属) 部門と移輸出減少による原油・天然ガス部門での消費効率の改善に対する寄与率が目立って大きい。

全体として, 石炭や石油・石炭製品を中心とする化石燃料部門, 及び金属鉱物, 金属製品などの重化学工業部門が化石燃料の消費効率の悪化に大きく寄与していることがみて取れる。

図7 化石燃料誘発係数の変化の部門別寄与率 (%)



おわりに

最後に, 本研究のまとめと今後の課題について触れておこう。本稿では, 産業連関分析の手法を用いて, 河北省の産業構造の変化及びエネルギー消費効率の変化の要因について分析してきた。

主な分析結果を以下にまとめる。

(1) 河北省の産業構造について、重化学工業の全産業に占めるシェアが非常に高く、なかでも金属精錬のシェアが極めて高い。2007年から2012年にかけて金属精錬のシェアの上昇も大きく、河北省経済をリーディングしている最も重要な部門になっている。全体的には、農林水産業及び軽工業のシェアの低下と重化学工業のシェアの上昇が特徴としてみられ、産業構造の高度化がうかがえる。

(2) 産業構造の変化の要因分析の結果について、全体として、河北省の第一の成長要因として、移輸入代替が非常に目立っており、次いで投資の拡大と都市家計消費の増大となっている。農村家計消費、政府消費、及び技術の変化はプラス要因にはなっているものの、他の要因に比べると小さい。2007年から2012年にかけて河北省の経済成長は、主に移輸入代替による中間財投入の増大に起因しており、投資の拡大と消費（とりわけ都市家計消費）の増大も経済成長の重要な要素となってきたことが明らかになった。部門別にみると、移輸入代替による重化学工業の成長と投資の拡大による建設業の伸びが非常に目立っていることが特徴である。

(3) エネルギー消費効率の要因分析の結果について、2007年から2012年にかけて、河北省のエネルギー消費効率が10.51%悪化し、その主な要因は移輸入代替であることが明らかになった。化石燃料の消費効率の悪化に対する移輸入代替の寄与率が飛び抜けて高く、なかでも、エネルギー部門と重化学工業部門での移輸入代替の進展が大きく、河北省のエネルギー消費効率の悪化に大きく貢献している。また、投資構造の変化と都市家計消費の構造の変化も消費効率の悪化に寄与していることがわかった。特に、都市家計消費の構造は、需要構成の変化と支出シェアの変化がともに、化石燃料の消費効率の悪化に貢献していることから、都市化やライフスタイルの変化に伴って、都市家計消費の化石燃料の消費効率の悪化に対する寄与率は今後上昇していくと考えられる。投資と消費などの最終需要面での省エネ対策を今後重視していくべきである。

また、技術起因の化石燃料の消費効率の改善については、金属精錬（鉄鋼、非鉄金属）は目立っており、老朽設備の淘汰や省エネ型生産技術や生産方法の導入など技術面での改善が進んでいると考えられる。しかしながら、最もシェアの拡大が大きい金属鉱物や金属製品、建設部門では、投入構造の変化が化石燃料の消費効率の悪化にプラスの要因として動いている。また、化石燃料のうち、電力・熱供給と石油・石炭製品の二次エネルギー加工部門の技術要因が、消費効率の悪化にプラスに寄与している特徴がみられる。なかでも電力・熱供給部門の寄与率が全部門で最も大きい。これらの部門における省エネの改善に力を入れるべきである。

以上の分析結果から、2007年から2012年にかけて、河北省の経済成長の主な原動力は、移輸入代替により中間財の増大であり、投資の拡大と都市家計消費の増大も成長の大きな要因となっている。同時に、これらの成長要因が化石燃料の消費効率の悪化の要因にもなっていることが明ら

かになった。また、河北省経済を牽引している電力・熱供給などのエネルギー加工部門や重化学工業部門の多くが、生産技術の面では化石燃料の消費効率の悪化の原因となっていることから、河北省の持続可能な発展のため、こういった化石燃料の加工部門や重化学工業部門での省エネ技術の導入など技術面での改善に力を入れるべきである。また、今後、化石燃料の消費効率の悪化に対する寄与率が伸びていくと予想される投資や都市家計消費など、最終需要面での省エネ対策も不可欠であろう。

今回の分析では、河北省の一地域の産業構造とエネルギー消費との関係に関する分析に留まっているが、産業構造と環境問題との関係に関する分析、また他地域との比較分析については、今後の課題としたい。

参考文献

- 大久保正勝・浅利一郎（1996）「エネルギー消費と地域産業構造」, 土居英二・浅利一郎・中野親徳編著『はじめよう地域産業連関分析』（日本評論社）第15章。
- 金継紅・長谷部勇一（2006）「中国経済の構造変化の要因分析—1981-87-90-95年接続産業連関表を用いて」『エコノミア』第57巻第2号。
- 金継紅・長谷部勇一（2012）「中国産業別成長要因とエネルギー消費要因分析」『エコノミア』第63巻第2号。
- 長谷部勇一（1994a）「経済構造変化と環境の要因分析—産業連関表を適用して」『エコノミア』第44巻第4号。
- 長谷部勇一（1994b）「日本経済の構造変化と環境負荷—DPGによる要因分析」『イノベーション&I-Oテクニク』第5巻第3号。
- 長谷部勇一（1995）「中国経済の構造変化と環境負荷—DPGによる要因分析」『エコノミア』第46巻第3号。
- 藤川清史（1999）『グローバル経済の産業連関分析』創文社。
- 藤川清史（2005）「産業構造の分析」『グローバル経済の産業連関分析』日本評論社，第7章。
- 拙稿（2018）「中国河北省の経済構造と産業連関に関する研究—接続産業連関表の作成を通じて—」『経済研究』（静岡大学）22巻3・4号（pp.71-97），2018年2月。
- 中国国家统计局「National data」<http://data.stats.gov.cn/index.htm>

¹ 【技術注】 要因分解

$$\begin{aligned}\Delta X &= X_{12} - X_{07} = B_{12}[(I - \hat{M}_{12})F_{12}^d + E_{12}] - B_{07}[(I - \hat{M}_{07})F_{07}^d + E_{07}] \\ &= \{B_{12}(I - \hat{M}_{12})F_{12}^d - B_{07}(I - \hat{M}_{07})F_{07}^d\} + \{B_{12}E_{12} - B_{07}E_{07}\}\end{aligned}\quad (1.1)$$

ここで,

$$B_{12}E_{12} - B_{07}E_{07} = B_{12}E_{12} - B_{12}E_{07} + B_{12}E_{07} - B_{07}E_{07} = B_{12}(E_{12} - E_{07}) + (B_{12} - B_{07})E_{07}\quad (1.2)$$

同様に, 以下の (1.3) 式が得られる.

$$B_{12}(I - \hat{M}_{12})F_{12}^d - B_{07}(I - \hat{M}_{07})F_{07}^d = B_{12}[(I - \hat{M}_{12})F_{12}^d - (I - \hat{M}_{07})F_{07}^d] + (B_{12} - B_{07})(I - \hat{M}_{07})F_{07}^d\quad (1.3)$$

(1.2) 式と (1.3) 式を (1.1) 式に代入すると,

$$\Delta X = \{B_{12}[(I - \hat{M}_{12})F_{12}^d - (I - \hat{M}_{07})F_{07}^d] + (B_{12} - B_{07})(I - \hat{M}_{07})F_{07}^d\} + \{B_{12}(E_{12} - E_{07}) + (B_{12} - B_{07})E_{07}\}\quad (1.4)$$

となる. ここで,

$$\begin{aligned}B_{12}[(I - \hat{M}_{12})F_{12}^d - (I - \hat{M}_{07})F_{07}^d] &= B_{12}[(I - \hat{M}_{12})F_{12}^d - (I - \hat{M}_{12})F_{07}^d + (I - \hat{M}_{12})F_{07}^d - (I - \hat{M}_{07})F_{07}^d] \\ &= B_{12}[(I - \hat{M}_{12})(F_{12}^d - F_{07}^d) - (\hat{M}_{12} - \hat{M}_{07})F_{07}^d]\end{aligned}\quad (1.5)$$

$$\begin{aligned}(B_{12} - B_{07})E_{07} &= I(B_{12} - B_{07})I E_{07} = B_{12}B_{12}^{-1}(B_{12} - B_{07})B_{07}^{-1}B_{07}E_{07} = B_{12}\{B_{12}^{-1}(B_{12} - B_{07})B_{07}^{-1}\}B_{07}E_{07} \\ &= B_{12}\{B_{12}^{-1}B_{12}B_{07}^{-1} - B_{12}^{-1}B_{07}B_{07}^{-1}\}B_{07}E_{07} = B_{12}[B_{07}^{-1} - B_{12}^{-1}]B_{07}E_{07} \\ &= B_{12}\{[I - (I - \hat{M}_{07})A_{07}] - [I - (I - \hat{M}_{12})A_{12}]\}B_{07}E_{07} \\ &= B_{12}\{(I - \hat{M}_{12})(A_{12} - A_{07}) - (\hat{M}_{12} - \hat{M}_{07})A_{07}\}B_{07}E_{07}\end{aligned}\quad (1.6)$$

同様に, 以下の (1.7) 式が得られる.

$$(B_{12} - B_{07})(I - \hat{M}_{07})F_{07}^d = B_{12}\{(I - \hat{M}_{12})(A_{12} - A_{07}) - (\hat{M}_{12} - \hat{M}_{07})A_{07}\}B_{07}(I - \hat{M}_{07})F_{07}^d\quad (1.7)$$

(1.5) 式から (1.7) 式を (1.4) 式に代入すると,

$$\begin{aligned}\Delta X &= B_{12}[(I - \hat{M}_{12})(F_{12}^d - F_{07}^d) - (\hat{M}_{12} - \hat{M}_{07})F_{07}^d] \\ &\quad + B_{12}\{(I - \hat{M}_{12})(A_{12} - A_{07}) - (\hat{M}_{12} - \hat{M}_{07})A_{07}\}B_{07}(I - \hat{M}_{07})F_{07}^d + B_{12}(E_{12} - E_{07}) \\ &\quad + B_{12}\{(I - \hat{M}_{12})(A_{12} - A_{07}) - (\hat{M}_{12} - \hat{M}_{07})A_{07}\}B_{07}E_{07}\end{aligned}$$

となる. 上記式を整理すると, 以下のような生産量変化の要因分解の式が得られる.

$$\Delta X = B_{12}(I - \hat{M}_{12})(F_{12}^d - F_{07}^d) + B_{12}(E_{12} - E_{07}) - B_{12}(\hat{M}_{12} - \hat{M}_{07})(F_{07}^d + A_{07}X_{07}) + B_{12}(I - \hat{M}_{12})(A_{12} - A_{07})X_{07}$$

$$\text{ただし, } X_{07} = B_{07}[(I - \hat{M}_{07})F_{07}^d + E_{07}]$$