

## 4.3 日本の環境効率の時系列推計

### (1) 日本の物質利用データの整備

4.2(2)において選定した対象物質について、表 II.4.2(2)-d～表 II.4.2(2)-j に整理した統計データソースをもとに、1990～2010年の生産量または出荷量のデータを整備した。なお、ある年の上流側の環境影響を評価する上では生産量、下流側の環境影響を評価する上では出荷量が適当であるが、ここでは両者はほぼ同じと仮定し、生産量のデータを優先的に整備した。生産量のデータが得られない場合に、出荷量のデータを整備した。

生物資源に関わる対象物質の統計データを図 II.4.3(1)-a に示す。おおそ時系列でデータを整備できたが、「その他の豆類」「ぶなしめじ、人工栽培」「他に分類されないその他の非食用耕種作物」「その他の酪農生産物」「鶏卵」「肉用牛」「肉鶏」「その他の畜産物、食用、毛皮用」「板類」「ひき割類」「ひき角類」「箱材・荷造用仕組材」「普通合板」「特殊合板」などにおいて、一部期間のデータが確認できなかった。農業・畜産製品の生産量・出荷量では、重量単位で得られたデータの中では「玄米」「生乳」等が突出して多く、次いで、「てんさい」「ばれいしょ」、続いて「鶏卵」「肉鶏」「豚」が多くなっている。漁業製品は、「その他の魚類」を除き、農業・畜産製品と比較して小さい値を示した。農業・畜産・漁業製品の生産量・出荷量は、1990～2010年の間、農業についてはやや減少傾向、畜産・漁業については、全体として横ばいか微減している。木材製品は、単位が異なるため比較が難しいが、全体として減少傾向にある。紙製品では、「ダンボール原紙」類、「塗工印刷用紙」類、「新聞巻取紙」が多い。全体として、1990年から2000年にかけて増加し、その後減少に転じている。

化石資源に関わる対象物質の統計データを図 II.4.3(1)-b に示す。ほぼ時系列でデータを整備できたが、一部期間のデータが欠損している物質も存在した(例えば、「ジメチルテレフタレート」「ジフェニルメタンジイソシアナート(MDI)」「キュブラ長繊維糸・短繊維・アセテート長繊維糸・短繊維」「炭化水素油」「潤滑油(石油精製によらないもの)」。ガス関係の生産量・出荷量では、「酸素ガス」や「窒素」、有機化学製品関係の生産量・出荷量では、「二塩化エチレン」「塩化ビニルモノマー」「スチレンモノマー」、プラスチック関係の生産量・出荷量では「ポリプロピレン」「ポリ塩化ビニル」「ポリスチレン」「塩化ビニル樹脂」、「ポリエチレン(低密度、高密度含む)」、石油製品関係の生産・出荷量では「ガソリン」「軽油」「C重油」「アスファルト」「液化石油ガス」等が多くなっている。

金属鉱物資源に関わる対象物質の統計データを図 II.4.3(1)-c に示す。おおそ時系列でデータを整備できたが、「はんだ、減摩合金」「亜鉛再生地金、亜鉛合金」「アルミニウム再生地金、アルミニウム合金」「金再生地金、金合金」「銅再生地金、銅合金」「その他の非鉄金属再生地金、同合金」など工業統計に記載があるデータについては、一部期間のデータが確認できなかった。また、生産量・出荷量では「粗鋼(転炉法)」「粗鋼(電炉法)」が圧倒的に大きく、次いで「アルミニウム再生地金」「電気銅」となっている。

非金属鉱物資源に関わる対象物質の統計データを図 II.4.3(1)-d に示す。ほぼ時系列でデータを整備できたが、「普通板ガラス」のみが一部期間のデータが確認できなかった。また、生産量・出荷量では、重量単位で確認できるものについては、「採石、砂・砂利・玉石」のが圧倒的に大きく、次いでセメント類が多くなっている。無機化学工業品のうち重量単位で確認できるものについては、「水酸化ナトリウム」が大きい。また、各製品分野のうち「その他の○○製品」となる項目がどの分野においても大きい値を示す傾向にある。

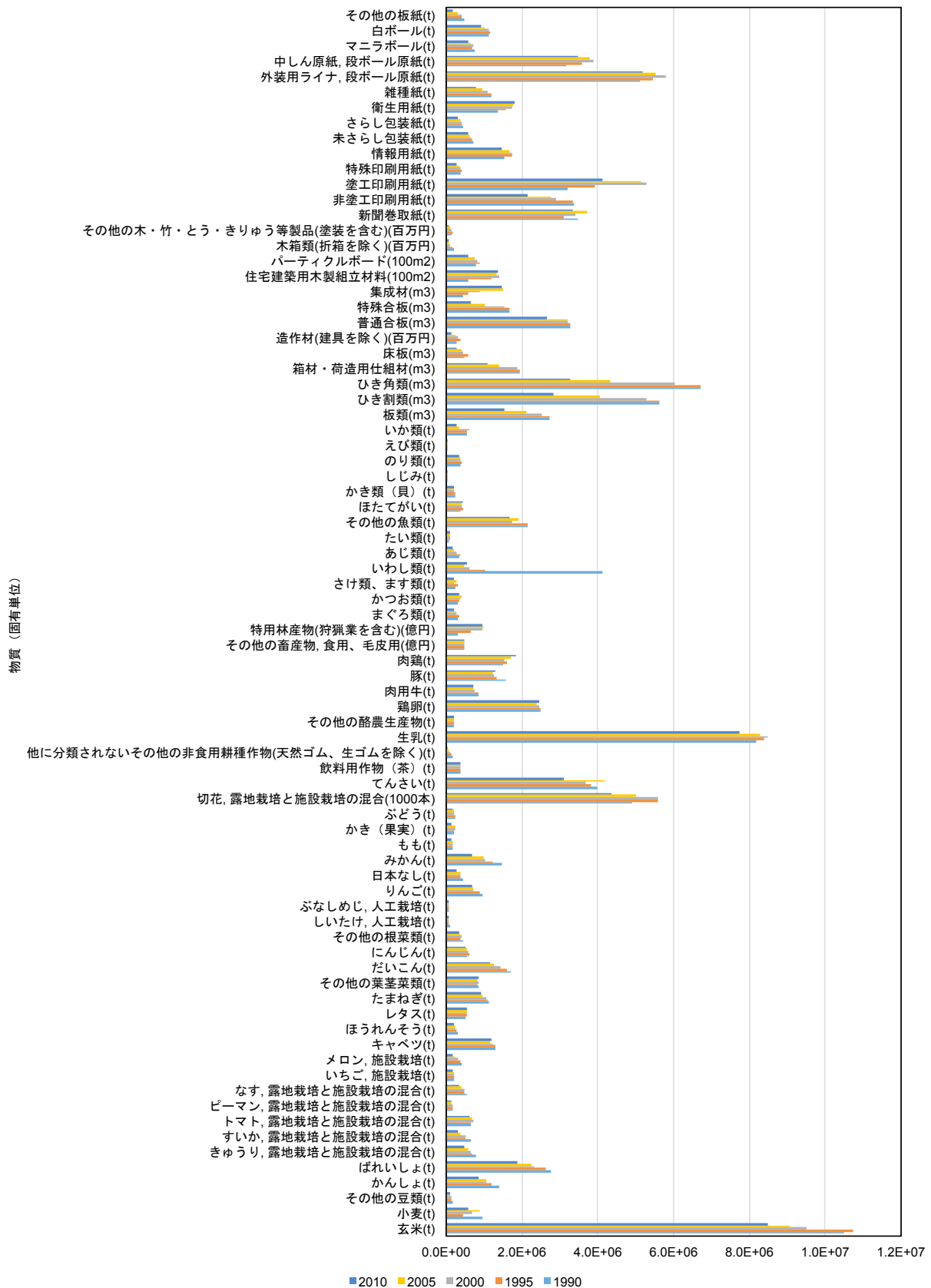


図 II.4.3(1)-a 対象物質に関わる統計データ (生物資源)

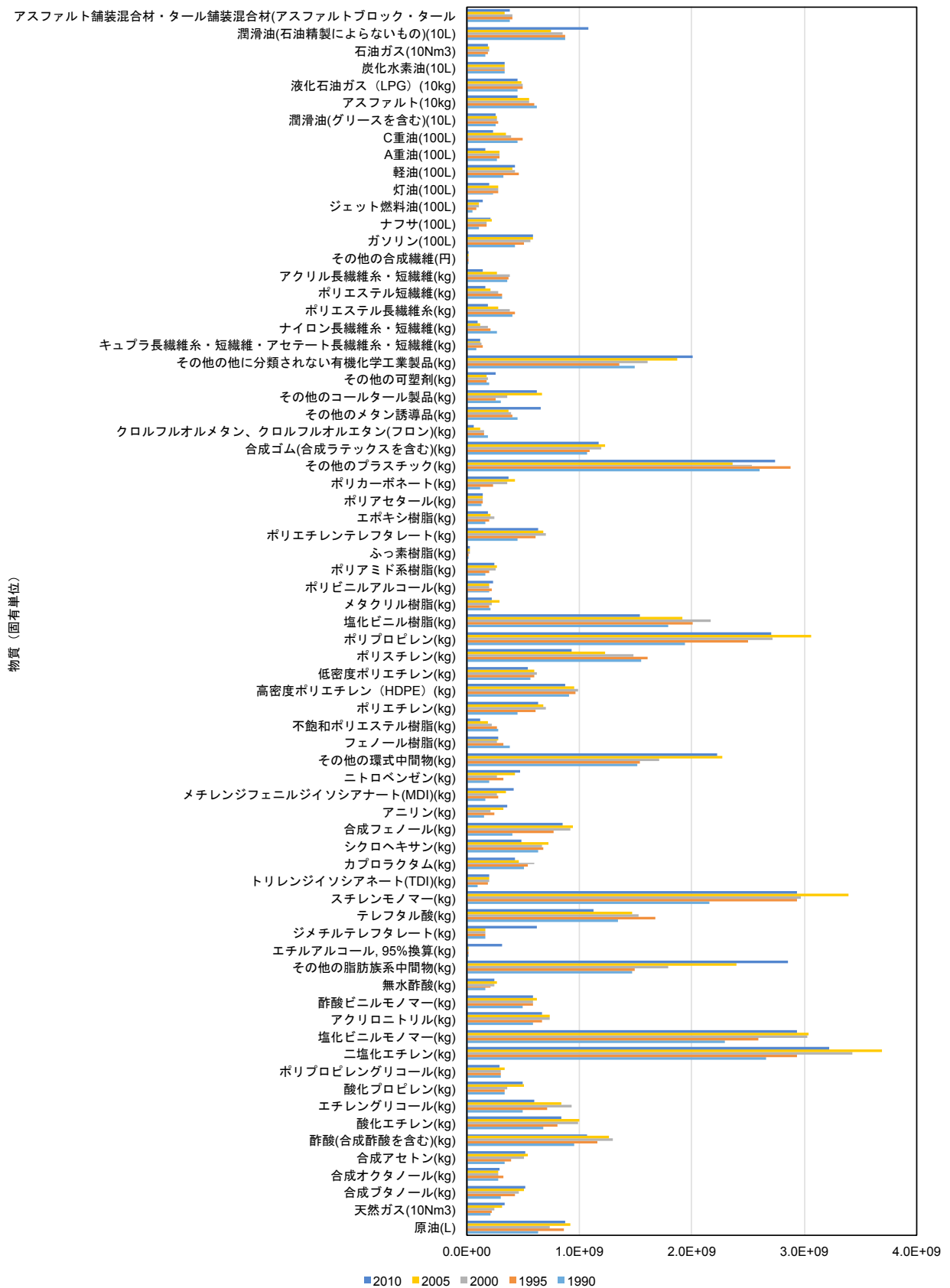


図 II.4.3(1)-b 対象物質に関わる統計データ(化石資源)

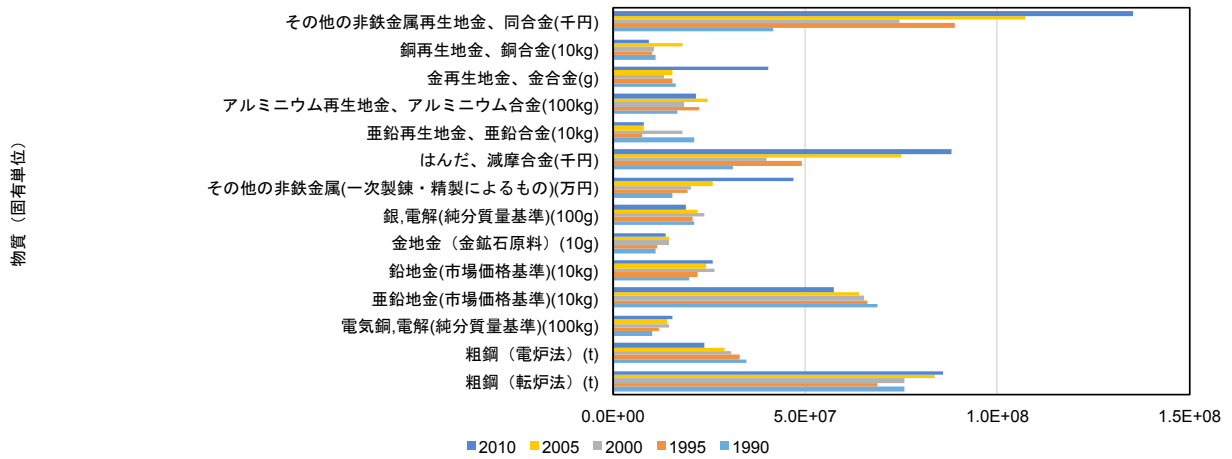


図 II.4.3(1)-c 対象物質に関わる統計データ(金属鉱物資源)

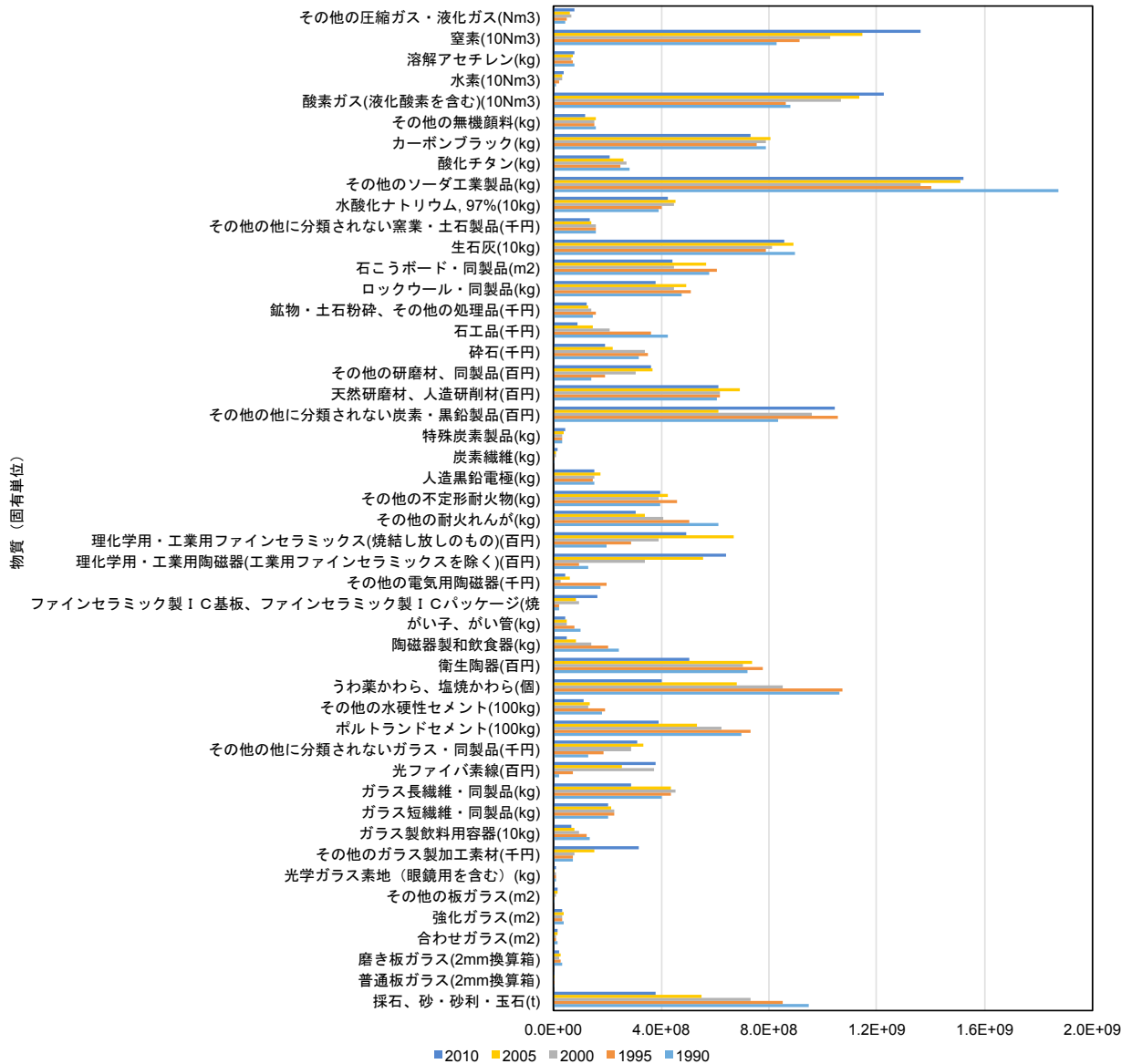


図 II.4.3(1)-d 対象物質に関わる統計データ(非金属鉱物資源)

## (2) 日本の物質利用に伴う総環境負荷・環境影響の推計

4.2(3)で試算した対象物質1単位あたりの上流側の環境影響、4.3(1)で整備した統計データ等を用いて、日本の物質利用に伴う環境影響を推計した。また、環境影響と同様の考え方で各対象物質が生み出す付加価値を推計した。対象期間は1990～2010年である。

### (a) 推計方法

対象物質の上流側の環境影響を推計するにあたっては、ダブルカウントを考慮する必要がある。選定した対象物質が他の対象物質の原材料となっている場合があるからである。そこで、他の対象物質の原材料となっている対象物質の環境影響は当該物質のそれから控除することとした。具体的には、対象物質1単位あたりの上流側の環境影響ベクトル( $UE_{up}$ )に、それぞれIDEAversion2の生産量ベクトル( $X$ )とダブルカウントを控除する係数ベクトル( $k$ )を乗じて、対象物質の上流側の環境影響( $E_{up}$ )を算出した。付加価値( $V_{up}$ )も同様の考え方であり、対象物質1単位あたりの上流側の付加価値ベクトル( $UV_{up}$ )は対象物質の生産において国内で生み出された付加価値を計算したものである。付加価値には、1990年、1995年、2000年、2005年、2011年の産業連関表の値を実質化し用いた(2011年基準)。

$$E_{up} = UE_{up}kX$$

$$V_{up} = UV_{up}kX$$

係数ベクトル( $k$ )を算出するにあたり、IDEAversion2の投入係数行列Aを図II.4.3(2)-aのように4つのブロックに分割した。ここで、 $t$ は対象物質、 $o$ は対象外の財・サービスであり、 $A_{tt}$ は対象物質に対する対象物質の投入係数行列を、 $A_{oo}$ は対象外の財・サービスに対する対象外の財・サービスの投入係数行列を、 $A_{to}$ は対象外の財・サービスに対する対象物質の投入係数行列を表す。このとき、係数ベクトル $k$ は以下の等式より算出される。

$$(Id - k)X = (A_{tt} + A_{to}(I - A_{oo})^{-1}A_{ot})X$$

ここで、 $Id$ は単位ベクトルであり、 $(I - A_{oo})^{-1}$ は、 $I + A_{oo} + A_{oo}^2 + \dots + A_{oo}^{60}$ で算出した。

$A_{tt}$	$A_{to}$
$A_{ot}$	$A_{oo}$

図II.4.3(2)-a 投入係数行列Aの分割

対象物質の下流側の環境影響を推計するにあたっては、下流側で発生する環境影響の一部を対象物質に割り当てる必要がある。本研究では、下流側のプロセスの投入係数の比によって、そのプロセスで発生する環境影響を上流側の対象物質に割り当てた。この係数( $\alpha_{to}$ )は、以下で表される。

$$\alpha_{to} = A_{to}(I - A_{oo})^{-1}$$

この割り当てを繰り返し、対象外の財・サービスの生産プロセスで発生する環境影響( $C_o$ )を下式により対象物質に割り当て、下流側の環境影響ベクトル( $E_d$ )を算出した。

$$E_d = \alpha_{to}diag(C_oX_o^d)$$

ここで、 $X_o^d$ は下流側の対象外の財・サービスの生産量ベクトルであり、下記で算出される。

$$X_o^d = X_o - X_o^{up} = X_o - L_{ot}kX$$

下流側の付加価値ベクトル( $V_d$ )も同様に、対象外の財・サービスの生産プロセスで発生する付加価値ベクトル( $D_o$ )を用いて下記のとおり算出した。

$$V_d = \alpha_{to}diag(D_oX_o^d)$$

上記を用いることにより、対象物質 1 単位あたりの下流側の環境影響ベクトル( $UE_d$ )、付加価値ベクトル( $UV_d$ )を下式のように算出することが可能である。

$$UE_d = E_d/kX$$

$$UV_d = V_d/kX$$

以上をもとに、対象物質  $i$  または全対象物質の環境影響( $e_i$ 、 $e_{tot}$ )、付加価値( $v_i$ 、 $v_{tot}$ )を算出した。これは、算出した環境影響ベクトルの成分( $e_{upi}$ 、 $e_{di}$ )、付加価値ベクトルの成分( $v_{upi}$ 、 $v_{di}$ )を合計したものである。4.2(3)で試算した対象物質 1 単位あたりの上流側の環境影響は下記の $e_i$ である。

$$e_i = e_{upi} + e_{di}$$

$$e_{tot} = \sum_i e_i = \sum_i e_{upi} + \sum_i e_{di}$$

$$v_i = v_{upi} + v_{di}$$

$$v_{tot} = \sum_i v_i = \sum_i v_{upi} + \sum_i v_{di}$$

なお、環境影響の統合については、ライフサイクル環境影響評価手法LIME2(Life-cycle Impact Assessment Method based on Endpoint Modeling ver.2)を用いた。

## (b) 環境影響の推計結果

### 全ての対象物質

まず、全ての対象物質の利用に伴う環境影響の推計結果を図 11.4.3(2)-b～図 11.4.3(2)-e に示す。1990～2010 年における日本の物質利用に伴う総環境影響は、2008 年の経済危機の影響を受けて 2009 年に若干減少したが、全体的には、ほぼ横ばいで推移していると推計された。日本の天然資源等消費量はこの間約 40%減少したが、環境影響の観点からは必ずしも減少の傾向が見られないことが示唆された。

最も大きな環境影響を示した資源の種類は生物資源であり、金属鉱物資源、化石資源、非金属鉱物資源の順となった(図 11.4.3(2)-b、図 11.4.3(2)-c)。生物資源の環境影響は、おおよそ 50%を占め、その割合はやや減少傾向、金属鉱物資源利用の環境影響は微増傾向を示し、全体の約 20%を占める結果となった。化石資源の環境影響は、全体の 15%程度であったものの、2010 年には 20%程度まで増加し、非金属鉱物資源は、全体として占める割合も絶対量についてもやや減少傾向がみられた。この間の天然資源等消費量の大幅な減少は砂利・碎石の減少によるものであるが、これらの非金属鉱物資源の利用による環境影響は小さく、天然資源等消費量の減少が環境影響の減少に直接的に貢献していないことが示された。天然資源等消費量の減少が環境影響の減少に寄与していない状況が示唆されたことは、今後の環境政策の対象を再考する必要性を示唆している。

環境影響領域別で見ると(図 11.4.3(2)-d、図 11.4.3(2)-e)、全体として、土地利用が最も大きく(50～60%程度)、次いで地球温暖化(約 20%)、資源消費、都市域大気汚染(各 10%程度)となった。対象期間中の内訳については、大きな変化は見られなかった。

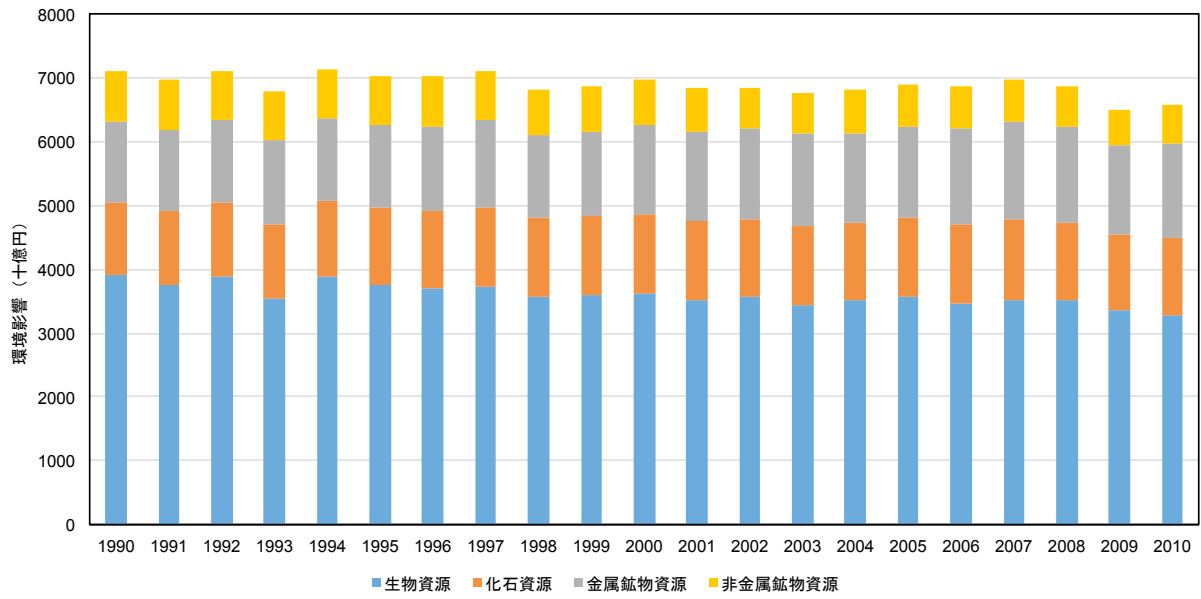


図 II.4.3(2)-b 日本の物質利用に伴う総環境影響の推移(資源別)

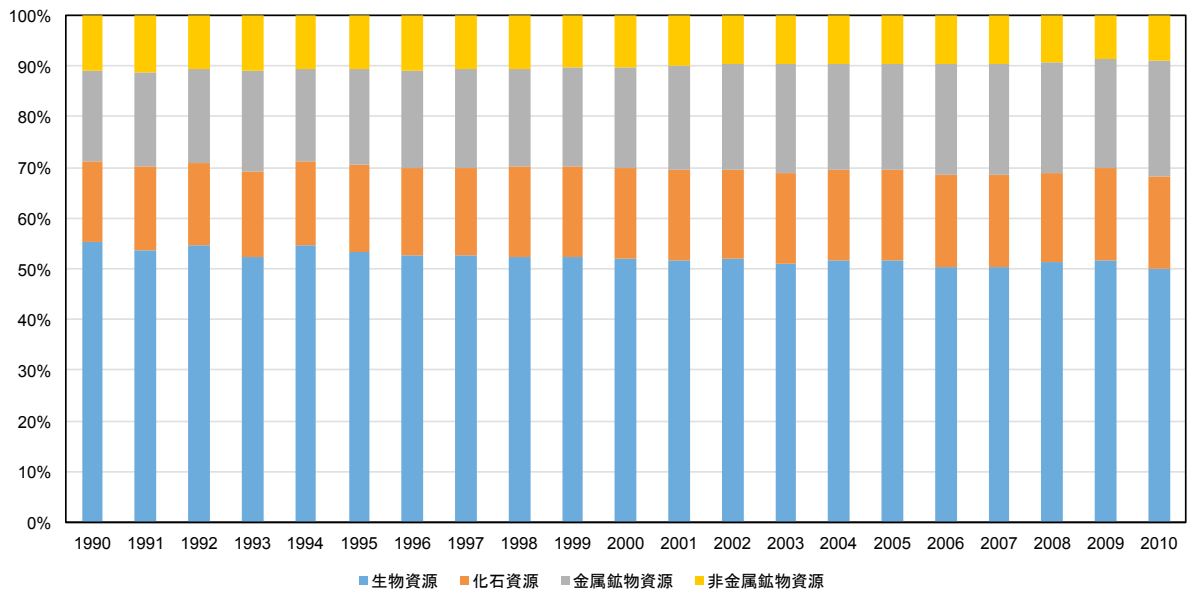


図 II.4.3(2)-c 日本の物質利用に伴う総環境影響の内訳の推移(資源別)

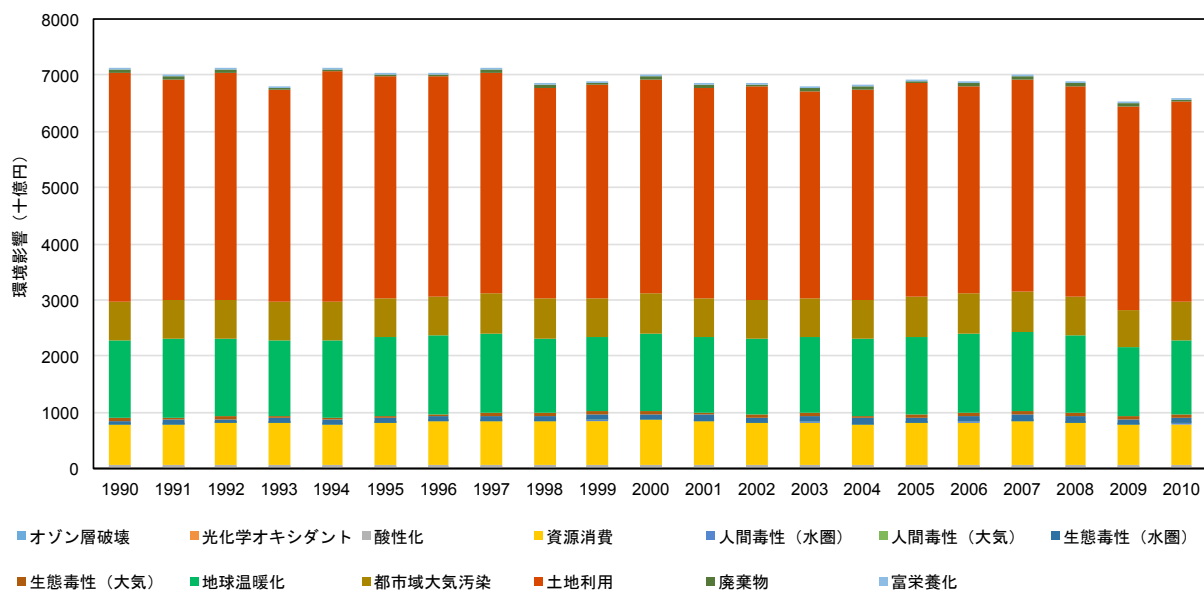


図 II.4.3(2)-d 日本の物質利用に伴う総環境影響の推移(影響領域別)

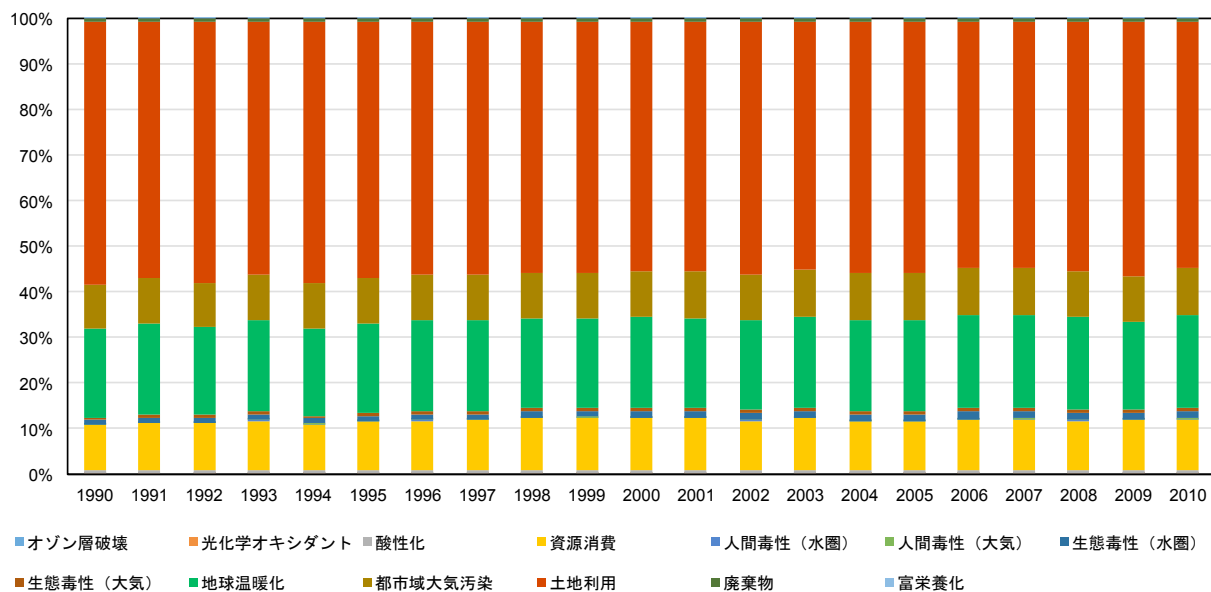


図 II.4.3(2)-e 日本の物質利用に伴う総環境影響の内訳の推移(影響領域別)



## 生物資源

生物資源に関わる対象物質の利用に伴う総環境影響の推計結果を図 II.4.3(2)-f～図 II.4.3(2)-j に示す。上述のとおり、全体的には減少傾向にある。

物質グループ別に見ると(図 II.4.3(2)-f、図 II.4.3(2)-g)、農業製品は、減少傾向を示しているが、その他製品は横ばい傾向となっている。2010 年では、農業製品・畜産製品がそれぞれ約 40%を占め、次いで、木材製品 8%、紙製品 8%と続き、漁業製品は 1%と小さい割合となった。環境影響領域については(図 II.4.3(2)-h、図 II.4.3(2)-i)、土地利用が 80%近くを占め、資源消費が約 8%、次いで、地球温暖化、都市域大気汚染などの影響がみられる。その内訳に大きな変化は見られなかった。

個別対象物質別で見ると(II.4.3(2)-j)、農業・畜産・漁業製品については、「玄米」が、単位あたり環境影響が比較的大きいことに加え、生産量も大きいことから、特に顕著な総環境影響の値を示した。次いで「生乳」「肉鶏」「肉用牛」「鶏卵」など畜産製品が大きな値を示し、それに続いて「小麦」も比較的大きい値を示した。その他製品の値はいずれも小さく、1 単位あたりの環境影響における相対的關係とは大きく異なっている。木材製品・紙製品については、「ひき角類」「ひき割類」「新聞巻取紙」「塗工印刷用紙」「普通合板」「非塗工印刷用紙」「衛生用紙」が比較的大きい値を示した。また、上記以外の農業・畜産・漁業製品では、果実・野菜類が、木材・紙製品と同等の総環境影響を示したが、漁業製品は比較的小さい値を示した。これは、農業・畜産・木材・紙製品の原料にかかわる土地利用や資源消費の影響が大きいためと考えられる。逆に、土地利用の影響を受けない漁業が相対的に小さい値を示す結果となっている。「玄米」「生乳」「肉鶏」「肉用牛」「鶏卵」「小麦」などについても、耕作面積や飼料向け土地利用が大きく影響している。なお、「玄米」「生乳」「肉用牛」「肉鶏」等以外の農業・畜産製品は、総じて 1kg あたりの環境影響が紙製品より大きく、漁業製品は小さい。漁業製品は、生産量も総じてやや小さく、総環境影響の結果にもそれが反映されている(木材製品については固有単位が異なるため単純な比較が難しい)。

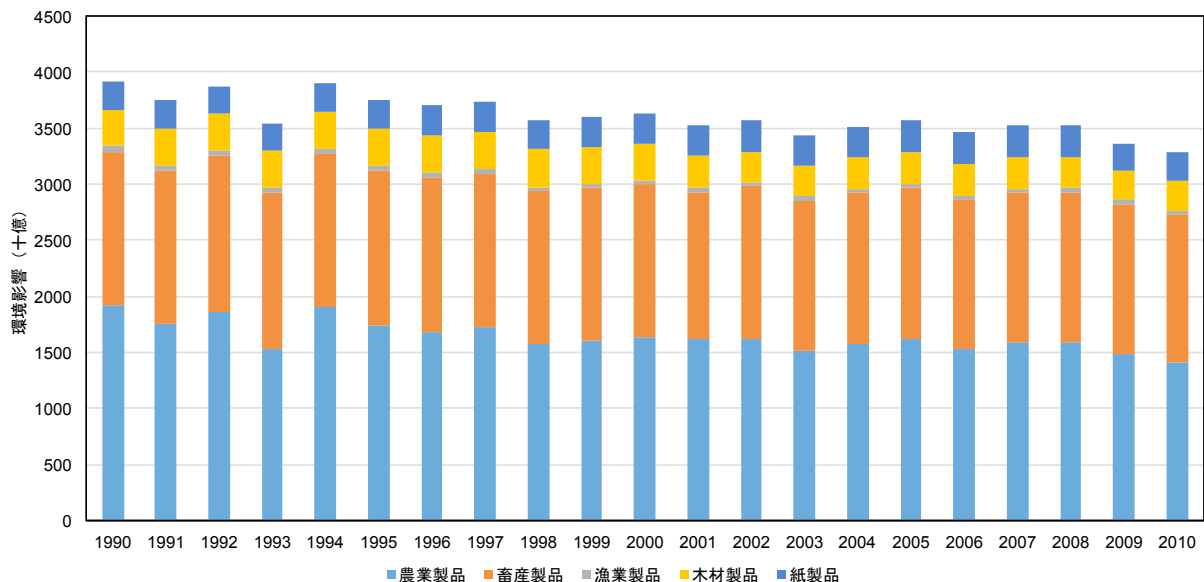


図 II.4.3(2)-f 日本の物質利用に伴う総環境影響の推移(生物資源)(物質グループ別)

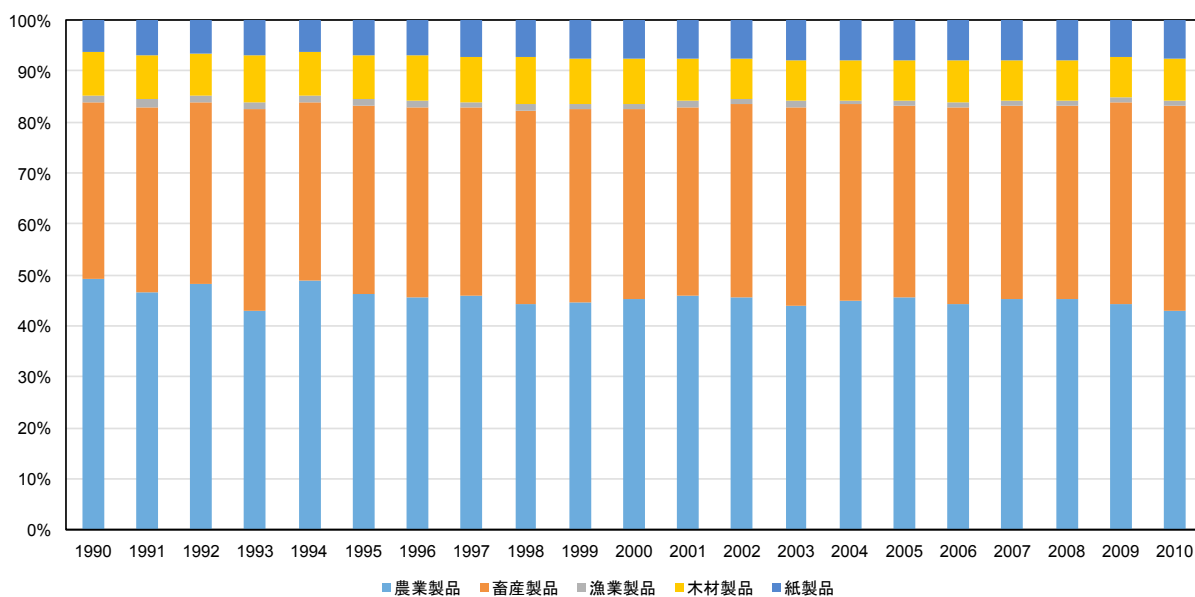


図 II.4.3(2)-g 日本の物質利用に伴う総環境影響の内訳の推移(生物資源)(物質グループ別)

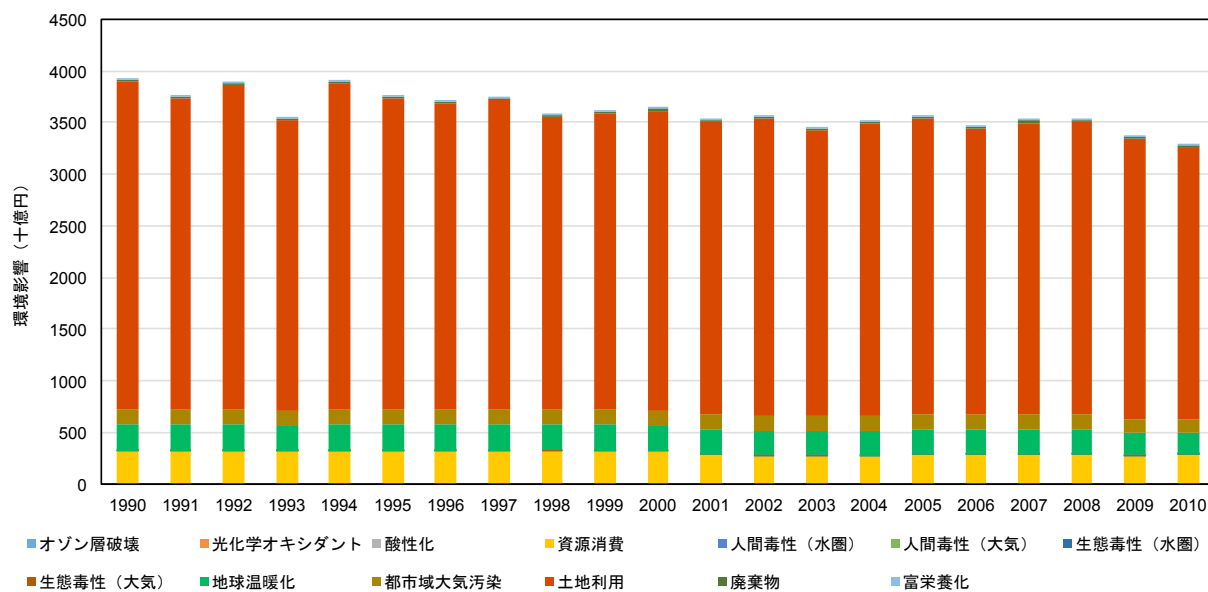


図 II.4.3(2)-h 日本の物質利用に伴う総環境影響の推移(生物資源)(影響領域別)

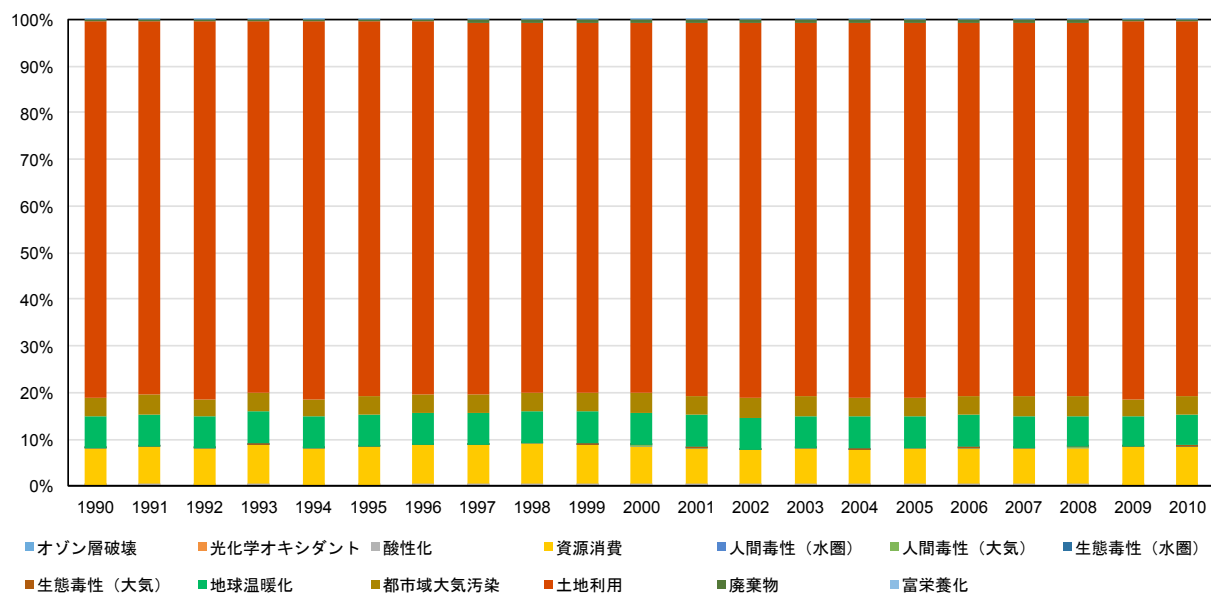
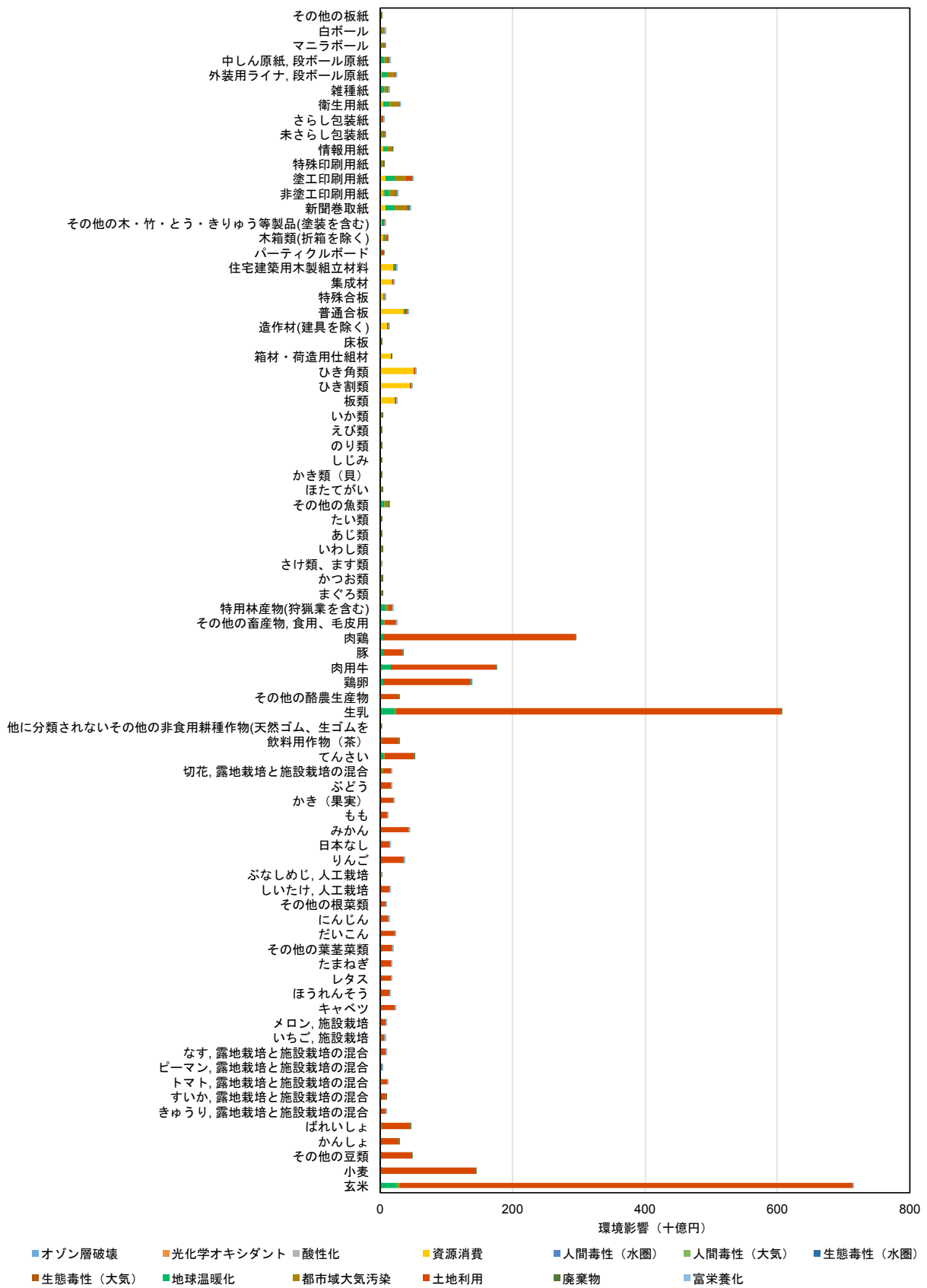


図 II.4.3(2)-i 日本の物質利用に伴う総環境影響の内訳の推移(生物資源)(影響領域別)



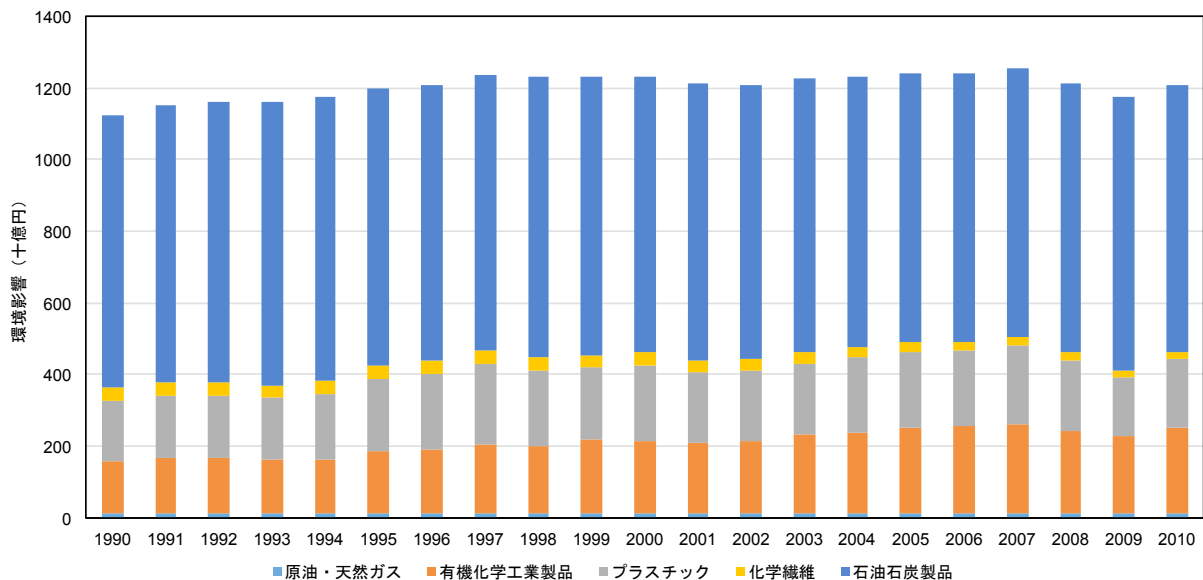
図II.4.3(2)j 日本の物質利用に伴う総環境影響(生物資源)(対象物質別)(2010年)

## 化石資源

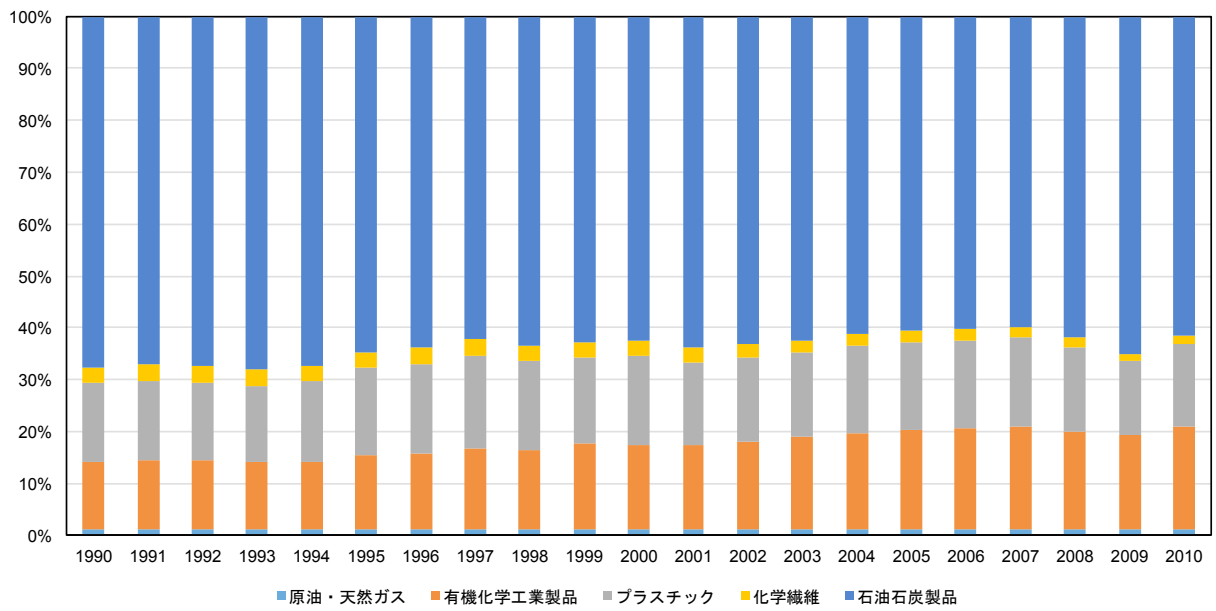
化石資源に関わる対象物質の利用に伴う総環境影響の推計結果を図 II.4.3(2)-k～図 II.4.3(2)-o に示す。2008～2009 年は世界経済危機により減少しているが、全体的には、微増傾向にある。

物質グループ別に見ると(図 II.4.3(2)-k、図 II.4.3(2)-l)、2010 年では、石油石炭製品が約 60%を占め、有機化学工業製品が約 20%、プラスチックが約 15%となっている。しかし、時系列で見ると、石油石炭製品が、微減傾向を示すのに対し、有機化学工業製品やプラスチックが微増傾向を示しており、それに伴い、環境影響の内訳も変化している。環境影響領域については(図 II.4.3(2)-m、図 II.4.3(2)-n)、土地利用が約 40%を占め、次いで、地球温暖化が約 30%、都市域大気汚染が約 25%と大きい。

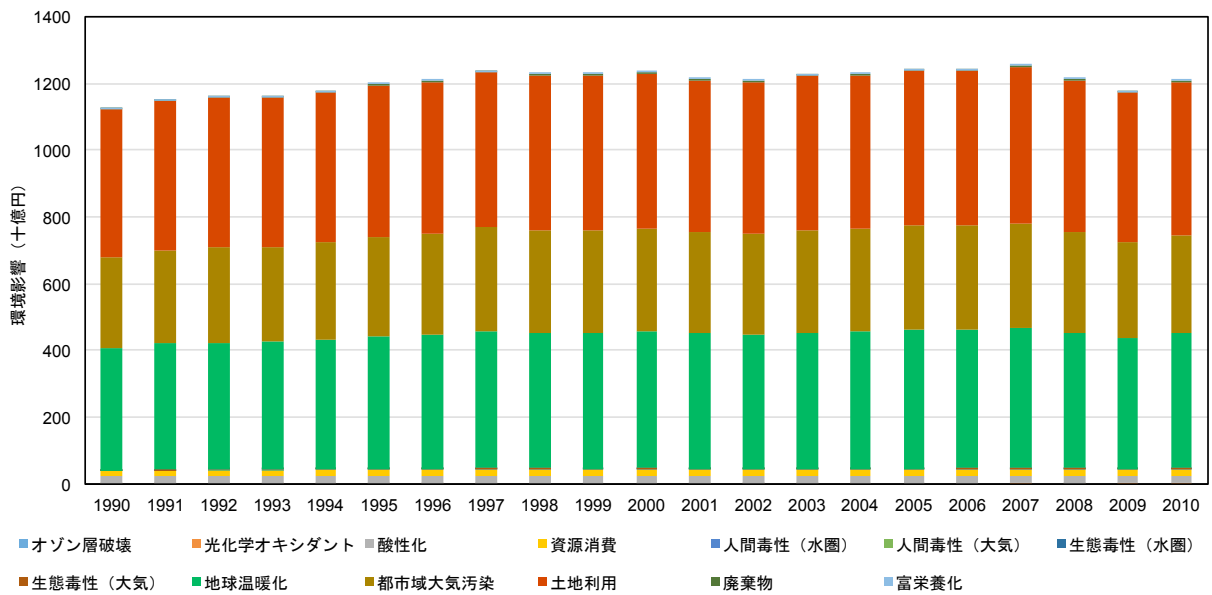
個別対象物質別で見ると(図 II.4.3(2)-o)、例えば、1 単位あたりの環境影響ではかなり小さい値を示していた石油・石炭製品類が、総環境影響では大きな値を示した。特に「軽油」「ガソリン」「A 重油」「ナフサ」「C 重油」などの原料・燃料となる石油製品が大きい。それに次いで大きな値を示したのは、プラスチック類であった。一方、1 単位あたりの環境影響で大きな値を示していた「ふっ素樹脂」は、相対的に小さい値となった。



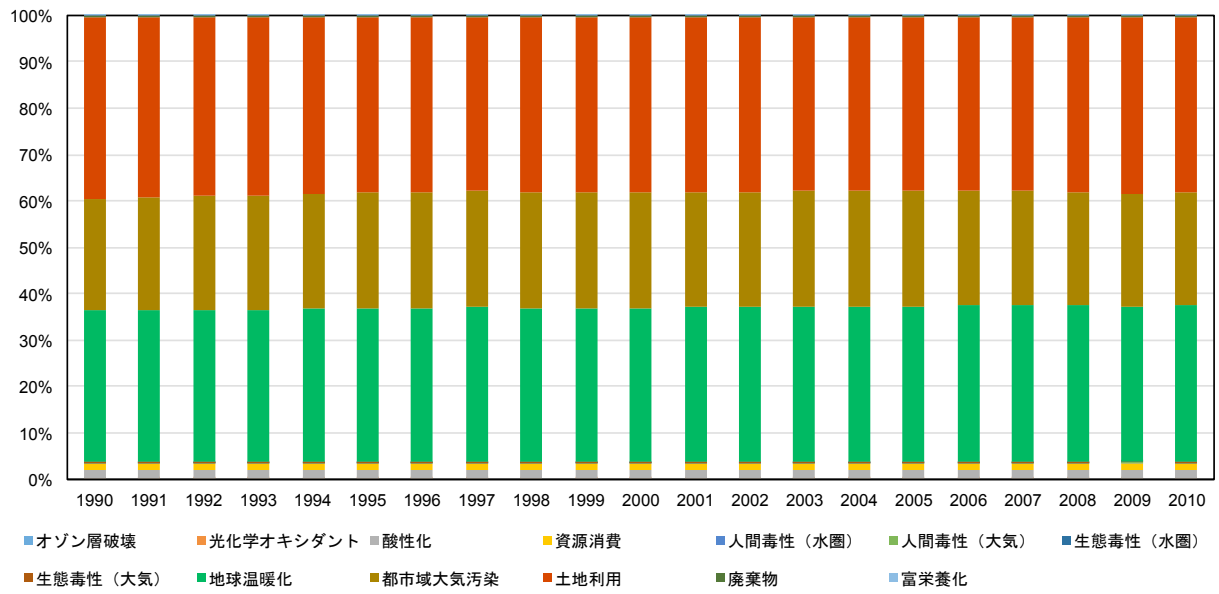
II.4.3(2)-k 日本の物質利用に伴う総環境影響の推移(化石資源)(物質グループ別)



II.4.3(2)H 日本の物質利用に伴う総環境影響の内訳の推移(化石資源)(物質グループ別)



図II.4.3(2)-m 日本の物質利用に伴う総環境影響の推移(化石資源)(影響領域別)



II.4.3(2)-n 日本の物質利用に伴う総環境影響の内訳の推移(化石資源)(影響領域別)

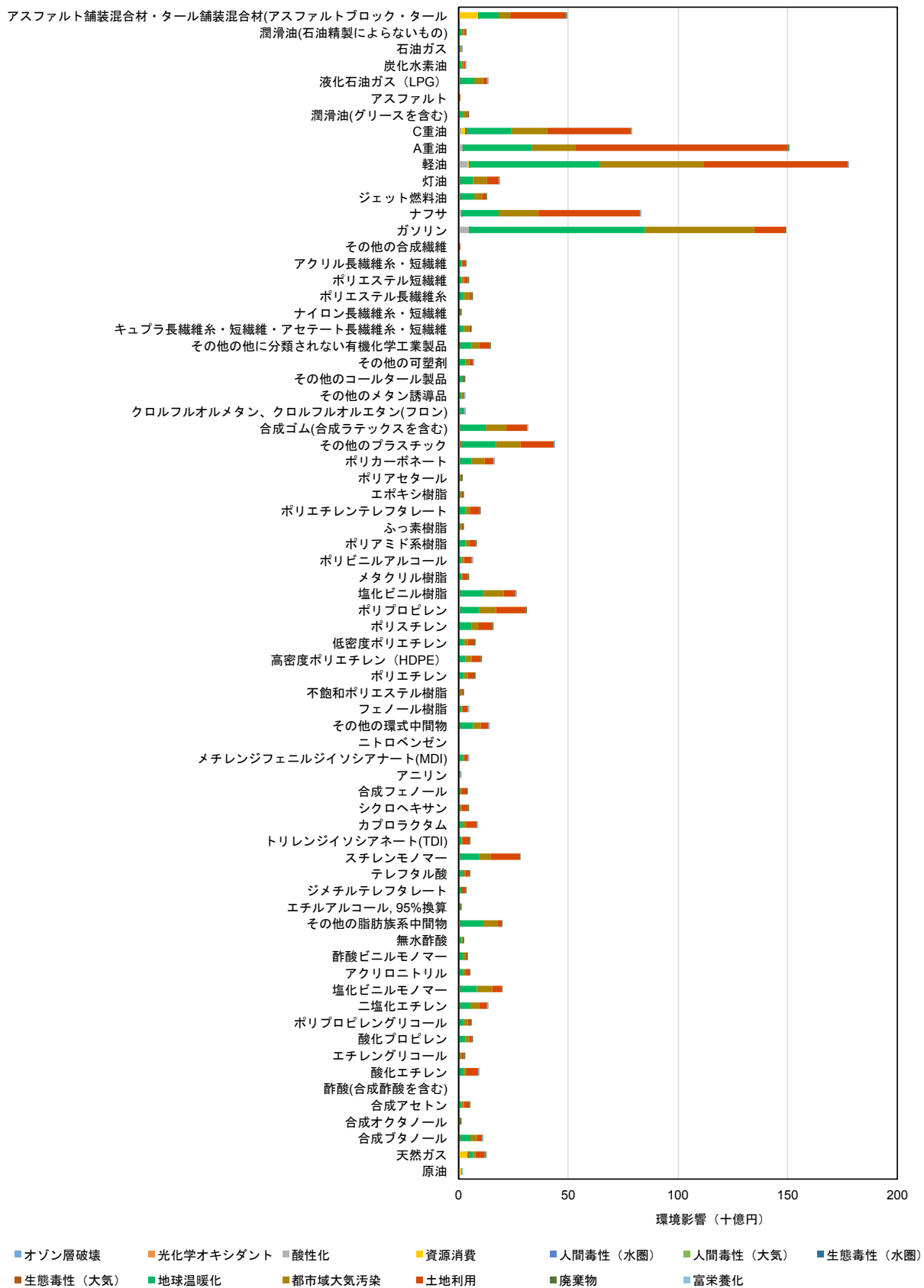


図 II.4.3(2)-o 日本の物質利用に伴う総環境影響(化石資源)(対象物質別)(2010年)



## 金属鉱物資源

金属鉱物資源に関わる対象物質の利用に伴う総環境影響の推計結果を図 II.4.3(2)-p～図 II.4.3(2)-t に示す。ここでも、2008～2009 年は世界経済危機により減少しているが、全体的には、増加傾向にある。

物質グループ別に見ると(図 II.4.3(2)-p、図 II.4.3(2)-q)、銅および鉄(2008 年経済危機付近を除く)が増加傾向、金が微増傾向、それ以外は横ばい傾向を示した。2010 年では、鉄および銅が共に約 30%を占め、次いで金が 7%を占めている。時系列で見ると、銅の増加傾向が特に顕著であり、割合も対象期間中に 1 割程度の伸びを示した。生産量の伸びの影響を受けているものと考えられる。鉄や金も全体を通しては増加傾向を示した。環境影響領域については(図 II.4.3(2)-r、図 II.4.3(2)-s)、資源消費と地球温暖化、土地利用の影響が顕著であり、次いで、都市域大気汚染も大きい値を示し、生態毒性(水圏)、生態毒性(大気)の影響も確認できる。その内訳に大きな変化は見られないが、地球温暖化、土地利用が微減し、資源消費が微増している傾向が確認できる。

個別対象物質別で見ると(図 II.4.3(2)-t)、1 単位あたりの環境影響では、「金地金」「金再生地金」に続いて大きな値を示した「電気銅」が、総環境影響では「粗鋼(転炉法)」に続く大きな値を示し、1 単位あたりの環境影響では比較的小さい値を示していた「粗鋼(転炉法)」が、総環境影響では最大値を示している。これは「粗鋼(転炉法)」の生産量が他の対象物質と比べて顕著に大きいためである。また、「粗鋼(転炉法)」は、石炭を多量に消費するため、地球温暖化、都市域大気汚染の影響が大きな割合を占め、他の対象物質と異なっている。一方、1 単位あたりの環境影響で特に大きな値を示していた「金地金」「金再生地金」は、総環境影響では、「金地金」が他と比較してやや大きい値を示したが、「金再生地金」は生産量・出荷量が非常に小さく、顕著に大きな値とはならなかった。また、その他の非鉄金属(一次製錬・精製によるもの)が、生産・出荷量の影響を大きく受け、大きな値を示している。

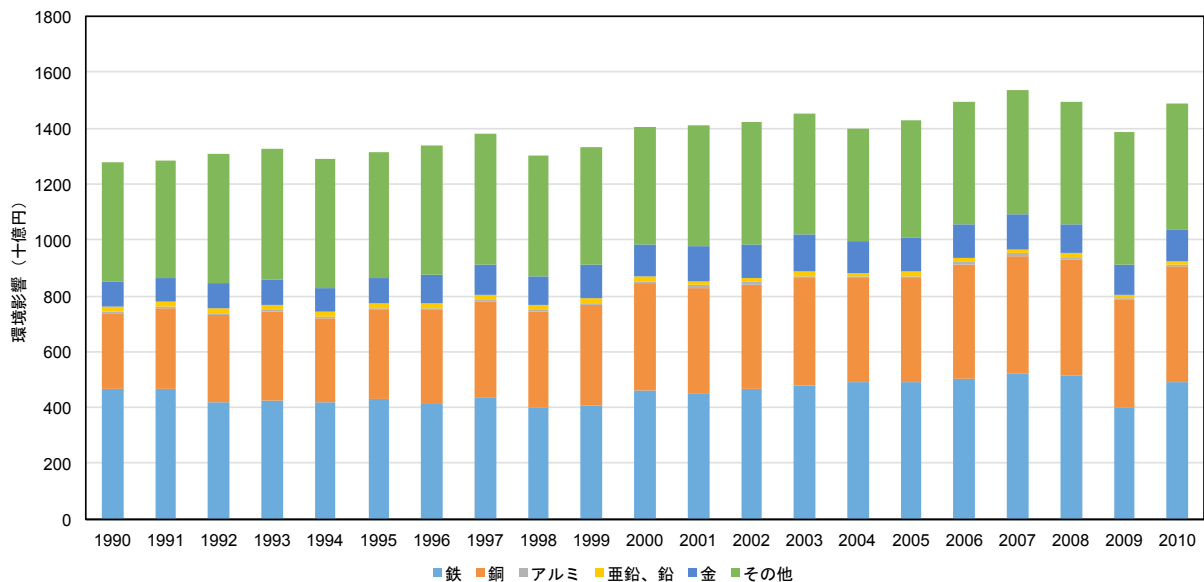


図 II.4.3(2)-p 日本の物質利用に伴う総環境影響の推移(金属鉱物資源)(物質グループ別)

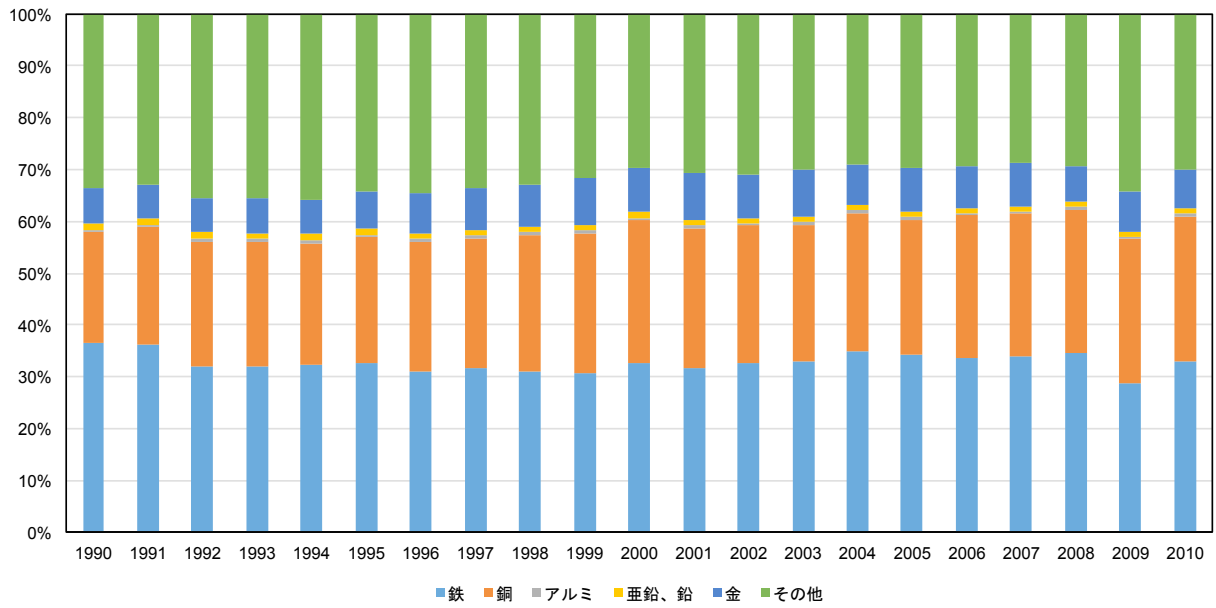


図 II.4.3(2)-q 日本の物質利用に伴う総環境影響の内訳の推移(金属鉱物資源)(物質グループ別)

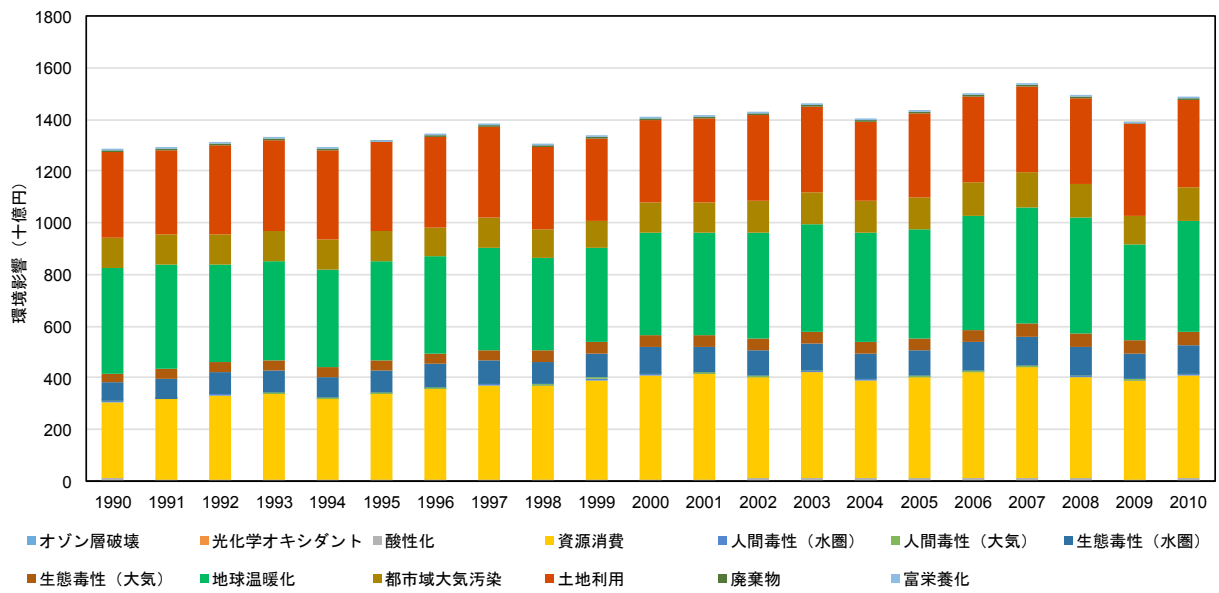


図 II.4.3(2)-r 日本の物質利用に伴う総環境影響の推移(金属鉱物資源)(影響領域別)

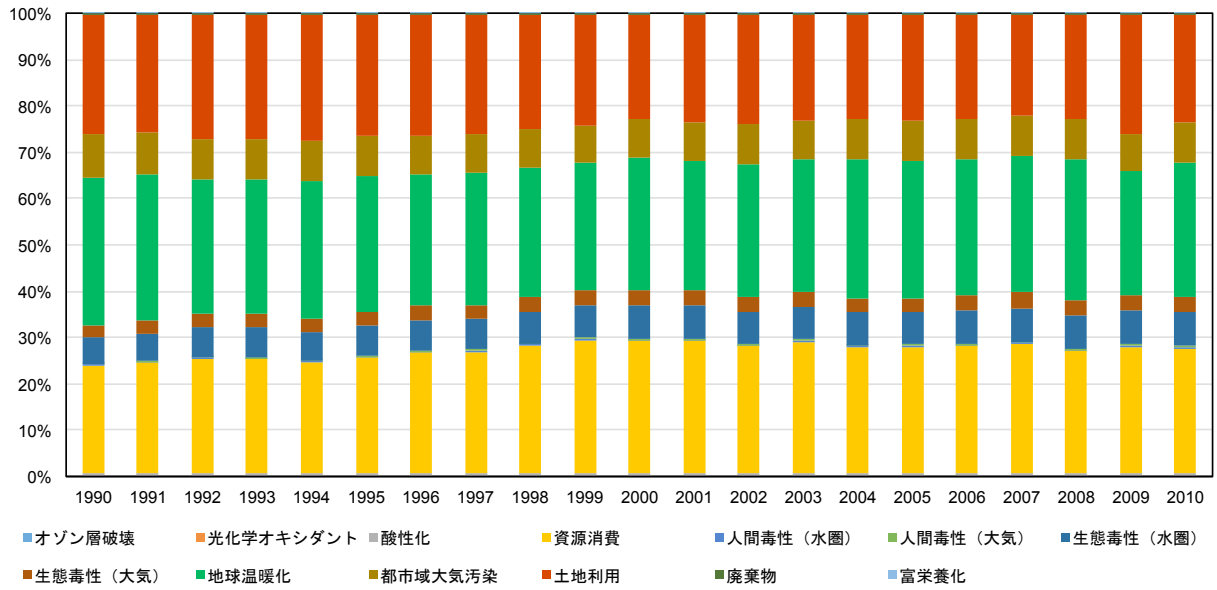


図 II.4.3(2)-s 日本の物質利用に伴う総環境影響の内訳の推移(金属鉱物資源)(影響領域別)

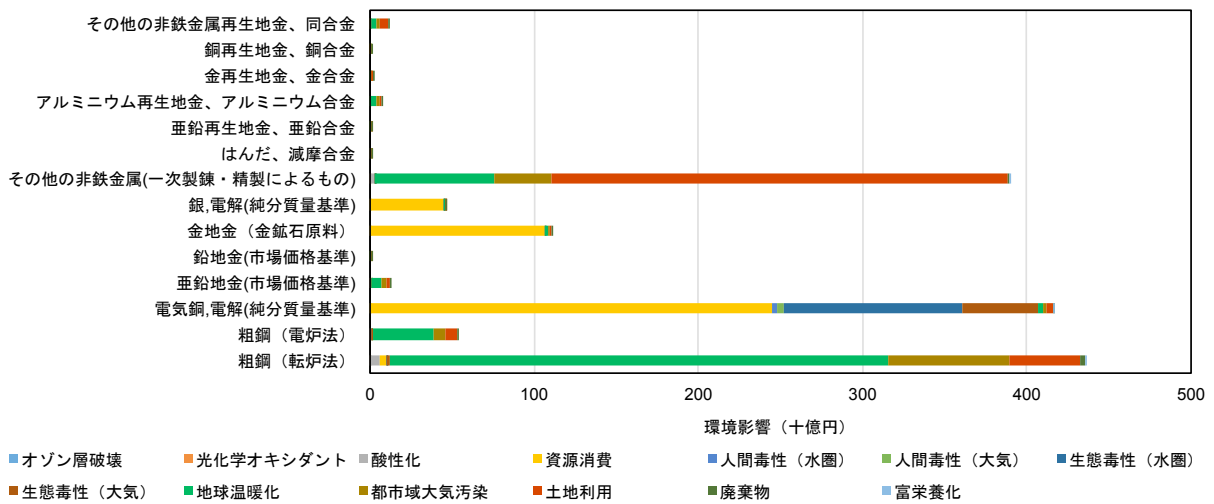


図 II.4.3(2)-t 日本の物質利用に伴う総環境影響(金属鉱物資源)(対象物質別)(2010年)

## 非金属鉱物資源

非金属鉱物資源に関わる対象物質の利用に伴う総環境影響の推計結果を図 II.4.3(2)-u～図 II.4.3(2)-z に示す。全体的には、減少傾向にある。

物質グループ別に見ると(図 II.4.3(2)-u、図 II.4.3(2)-v)、セメント、採石・砂・砂利・碎石のグループが減少傾向を示し、ガラス・ガラス製品は微増、窯業・土石製品は微減、無機化学工業製品は横ばいの傾向を示した。1990年代は、セメントが最も大きい値を示していたが、1997年を境に減少し始め、2000年以降窯業・土石製品が最も大きい値を示す物質グループとなった。また、採石・砂・砂利・碎石の影響も、2000年前後を境に、ガラス・ガラス製品、無機化学工業製品より小さくなった。2010年では、窯業・土石製品が約35%と最も大きい割合を占め、次いでセメントが約25%、ガラス・ガラス製品が約20%、無機化学工業製品や砂利・碎石が約10%を占めている。環境影響領域については(図 II.4.3(2)-x、図 II.4.3(2)-y)、地球温暖化が40～50%程度を占め、次いで、土地利用、都市域大気汚染、資源消費、廃棄物などの影響が大きい。資源消費の割合が減少傾向を示している。

個別対象物質別にみると(図 II.4.3(2)-z)、1単位あたりの環境影響では比較的小さい値を示していた「ポルトランドセメント」「生石灰」「その他の他に分類されないガラス・同製品」「その他の他に分類されない炭素・黒鉛製品」「碎石」「鉱物・土石粉碎、その他の処理品」「採石、砂・砂利・玉石」が、総環境影響では上位物質に入っている。「生石灰」については、下流側の一般・産業廃棄物の焼却処理サービスの影響を受け、地球温暖化、都市域大気汚染の影響が大きく示されている。

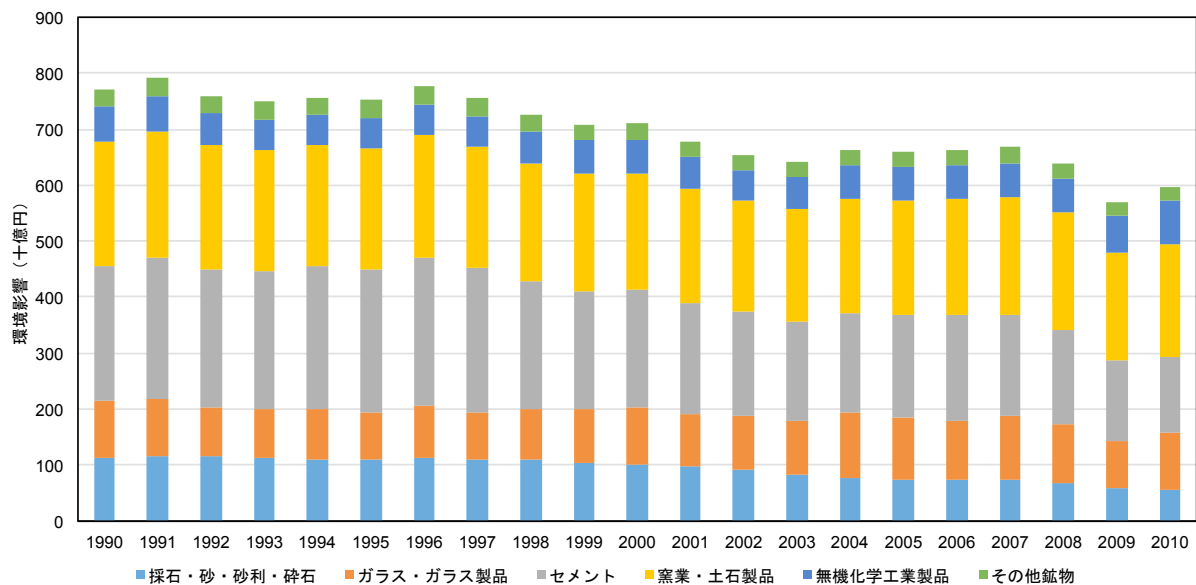


図 II.4.3(2)-u 日本の物質利用に伴う総環境影響の推移(非金属鉱物資源)(物質グループ別)

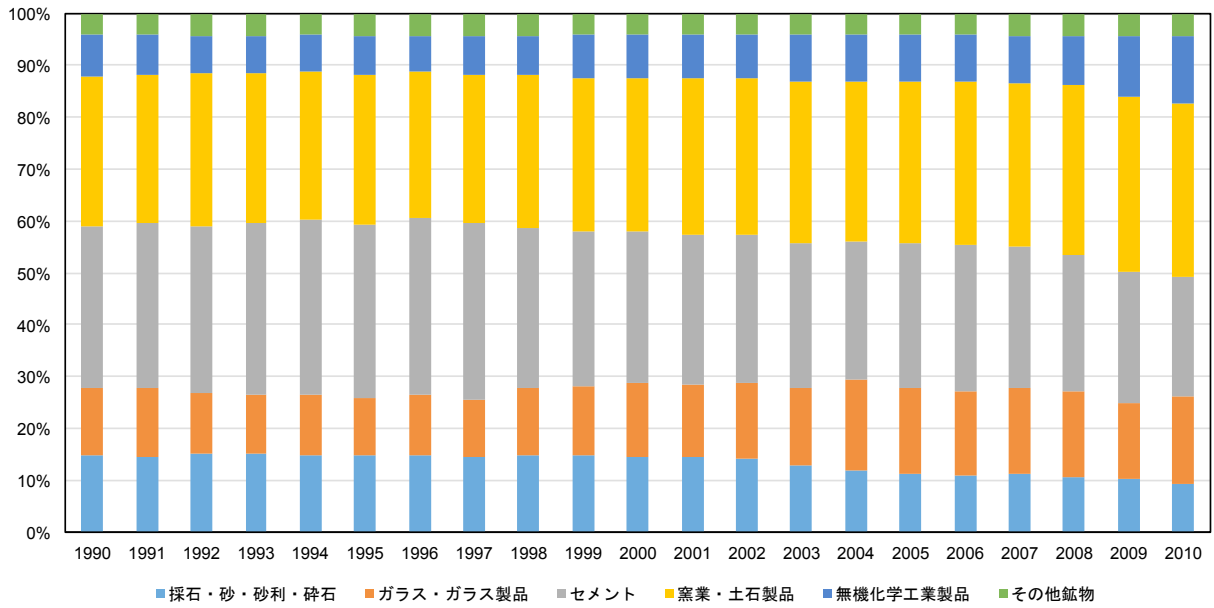


図 II.4.3(2)-v 日本の物質利用に伴う総環境影響の内訳の推移(非金属鉱物資源)(物質グループ別)

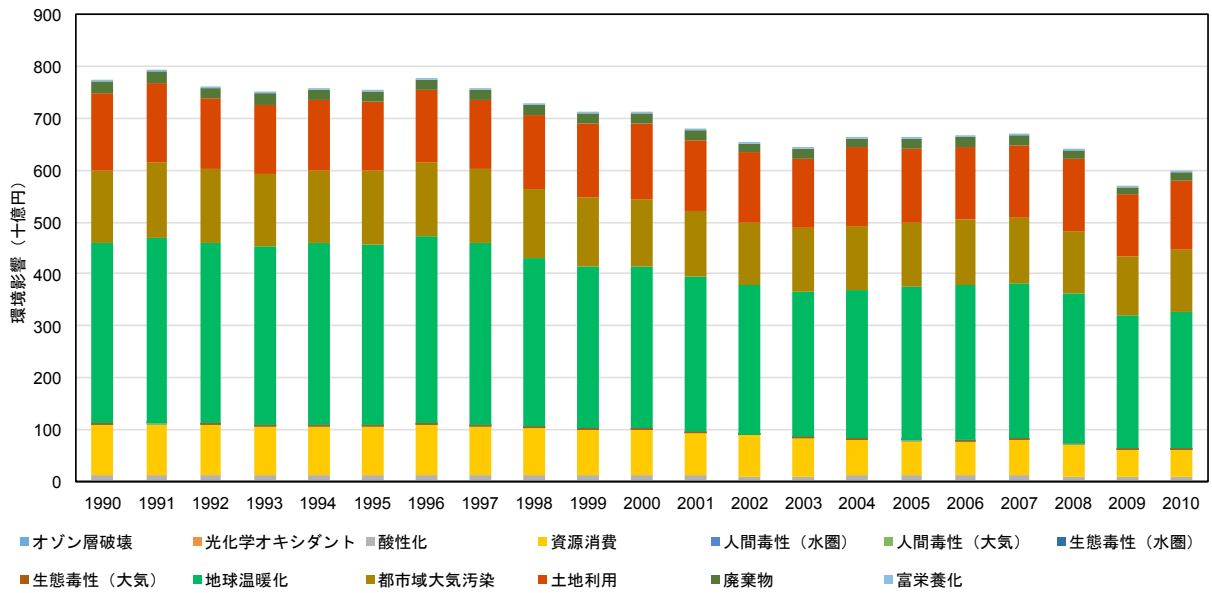


図 II.4.3(2)-x 日本の物質利用に伴う総環境影響の推移(非金属鉱物資源)(影響領域別)

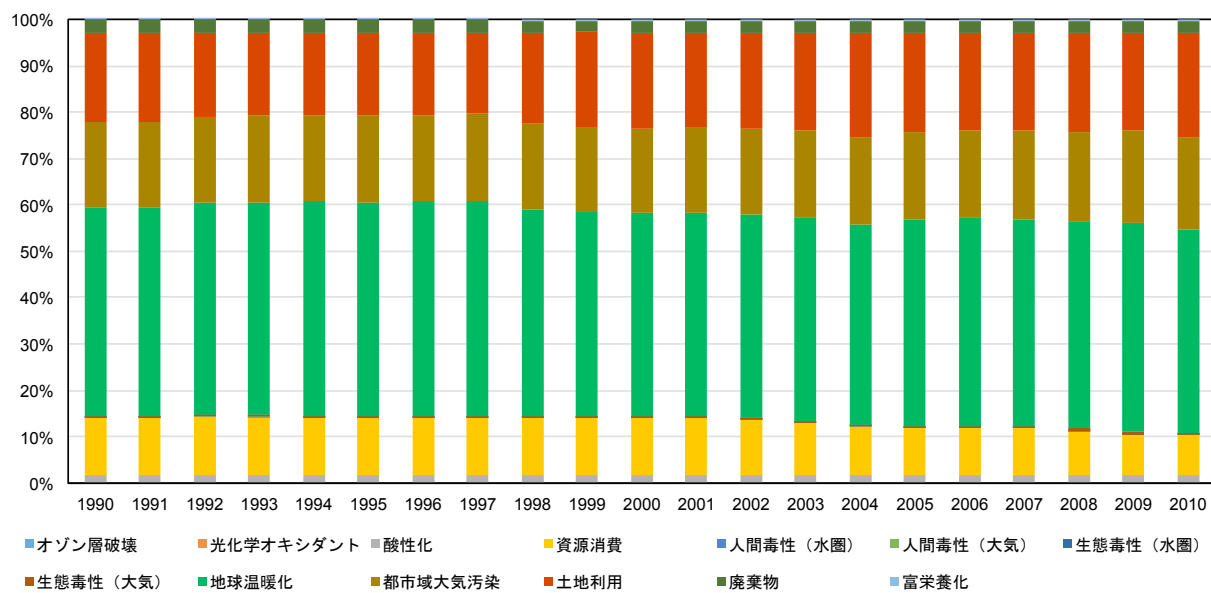
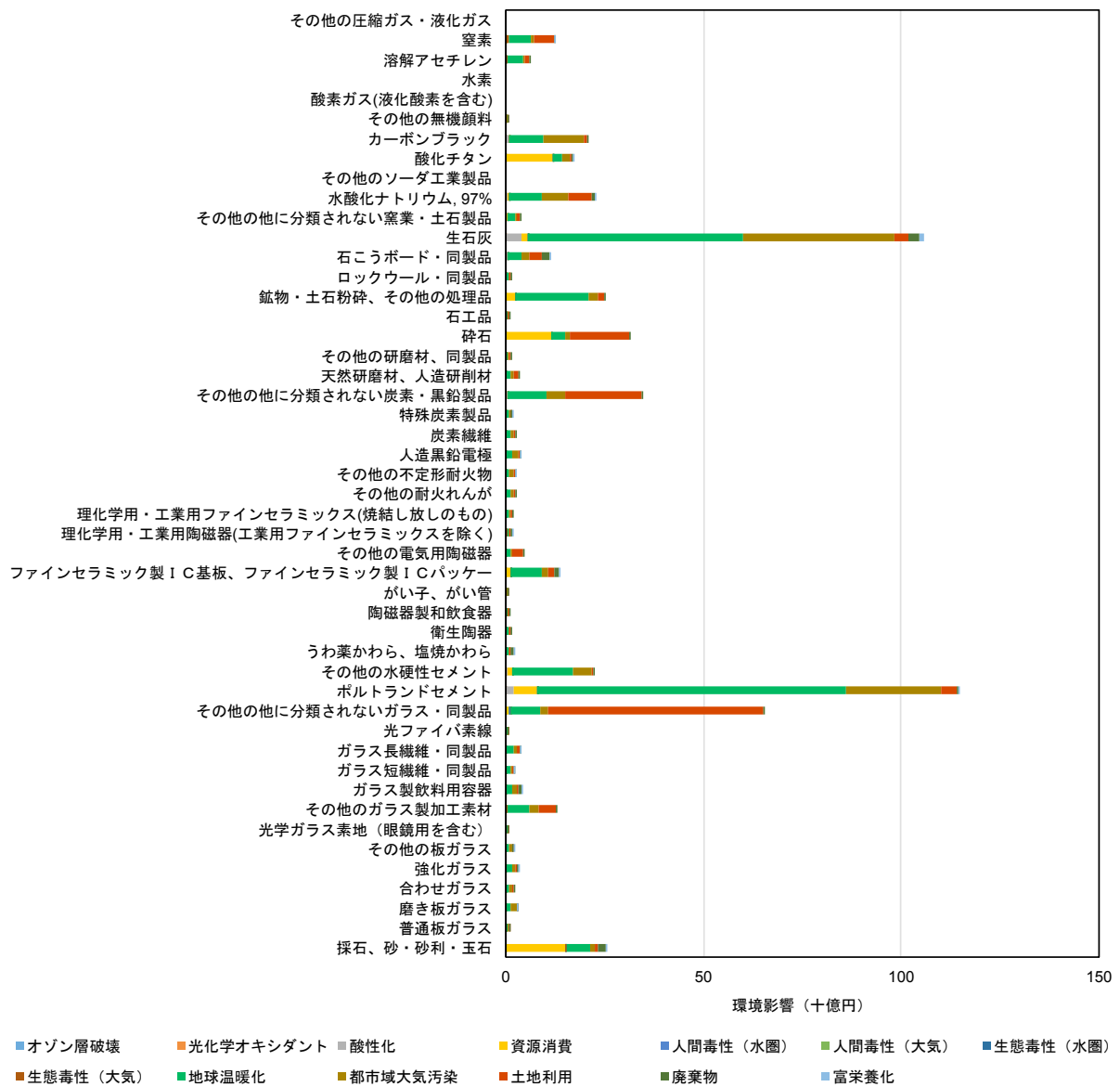


図 II.4.3(2)-v 日本の物質利用に伴う総環境影響の内訳の推移(非金属鉱物資源)(影響領域別)



図II.4.3(2)-z 日本の物質利用に伴う総環境影響(非金属鉱物資源)(対象物質別)(2010年)