

. 分 担 研 究 報 告

震災・津波による食品の化学物質汚染実態の調査

植草 義徳

平成 27 年度厚生労働科学研究補助金 食品の安全確保推進研究事業

震災に起因する食品中の放射性物質ならびに有害化学物質の実態に関する研究

分担研究報告書

震災・津波による食品の化学物質汚染実態の調査

研究代表者 蜂須賀暁子 国立医薬品食品衛生研究所生化学部第一室長

研究分担者 植草 義徳 国立医薬品食品衛生研究所食品部研究員

研究要旨

本年度は、津波被災地域（3 地域）および津波非被災地域（1 地域）からアイナメおよびカレイ・ヒラメを購入し、計 80 食品のポリ塩化ビフェニル類（PCBs）濃度実態を調査した。高分解能 GC-MS による PCBs 全 209 異性体分析の結果、総 PCBs 濃度は全ての試料において暫定的規制値（遠洋沖合魚介類：0.5 ppm）を下回っており、PCBs で高濃度に汚染された試料は認められなかった。一部の津波被災地域の間で総 PCBs 濃度に差が認められたが、本年度および 2014 年度に調査した津波非被災地域間の総 PCBs 濃度の差と比較するとその差は小さいことから、憂慮すべき必要はないと考えられた。総 PCBs 濃度に対する各同族体の割合を算出して解析したところ、ほとんどの試料において 4 塩素化～7 塩素化 PCBs の構成割合が大きく、カネクロール（KC）由来の PCBs 同族体割合を反映した環境中の魚の同族体割合と類似していた。同族体割合が異なる試料も一部で認められ、異性体ごとの割合や主成分分析を用いた詳細な解析により、アゾ顔料の副生 PCB による汚染が疑われた。しかしながら、これが津波の影響によるものであるかを判断するには至らなかった。

研究協力者 国立医薬品食品衛生研究所食品部

高附巧、堤智昭、渡邊敬浩、松田りえ子、前田朋美

A. 研究目的

2011 年の東北地方太平洋沖地震に伴

い発生した津波により、損壊した医療施設や工場から特定の有害化学物質が環境中に放出された可能性が、一部の学会等

で指摘されている。しかしながら、それら環境中に放出された有害化学物質による食品汚染の実態は十分に調査されていない。

本研究では、東北地方太平洋沖地震を原因とする津波により、有害化学物質による新たな食品汚染の発生の有無を明らかにすることを目的に、これまでに複数種の食品における各種有害化学物質濃度の実態を調査してきた。2014年度までに、津波被災地域および非被災地域に流通した食品から、重金属およびポリ塩化ビフェニル類(PCBs)の濃度データを蓄積している¹⁻³⁾。解析の結果、分析対象とした重金属元素および総PCBsと食品種の組み合わせにおいては、津波被災地域において注視すべきこれら濃度の上昇は認められなかった。この結論をより確かなものにするためには、本調査を継続するだけでなく、他の津波非被災地域における実態を把握し、得られた結果を統合的に解析することが重要であると考えられた。

そこで本年度は、これまでに収集した濃度データと得られた津波被災地域における有害化学物質濃度の変化結果を踏まえ、分析対象をPCBsに絞ることとし、より汚染や生物濃縮の蓋然性が高いと考えられる魚介類(アイナメおよびカレイ・ヒラメ)を津波被災地域(青森、岩手、宮城)および津波非被災地域(山形)

で買い上げ(計80食品)、PCBsの濃度実態について引き続き調査した。さらに、得られたPCBs濃度データと、2012年度²⁾および2014年度³⁾に調査した魚介類のPCBs濃度データを用いて主成分分析し、その結果から説明可能な内容を考察したので、併せて報告する。

B. 研究方法

1. 食品と分析用試料

日本地理学会が作成した津波被災マップを参考に、津波被災地域(青森、岩手、宮城)を実態調査の対象地域として選択した。また、比較対照となる津波非被災地として、山形を選択した。

これまでの実態調査結果との統合を考え、食品種としては、アイナメおよびカレイ・ヒラメの2種を選択し、各地域で10食品ずつ計80食品を買い上げた。各食品は2015年7月から12月にかけて購入した。

購入した食品は、必要に応じて可食部のみを分別した後、均一混合化した。有姿の魚については、内臓・皮・骨などを除外した後に混合した。なお、漁獲者や漁獲日の情報をもとに、同一条件下で漁獲されていることを確認した後、調製する試料の重量が原則300gとなるよう単一包装から無作為に採取した一部の量、

あるいは複数の包装分を併せた量を混合した。

調製した分析用試料の全てに試料コードを付し、試料の来歴が非明示となるようにして管理した。試料コード、食品群、商品の詳細、および購入地域の一覧を表1および表2に示す。試料コードの頭文字が津波被災地域A~C(青森~宮城)および津波非被災地域Y(山形)を表している。なお、分析用試料は、分析に供するまでの間、不活性容器に密封の上、-20℃で保管した。

2. PCBs 分析法

PCBs 分析法には、2014 年の調査同様³⁾、高分解能 GC-MS により 209 種の PCBs 異性体を分別定量する方法を用いた。

試薬類

- ・検量線作成用 PCBs 標準液:TPCB-CSL-A、CS1-A、CS2-A、CS3-A、CS4-A、CS5-A (関東化学株式会社)
- ・クリーンアップスパイク標準液:TPCB-CL-A100 (関東化学株式会社)
- ・シリンジスパイク標準液:TPCB-SY-A100 (関東化学株式会社)
- ・209 異性体混合標準液:M-1668A-1-0.01X、2-0.01X、3-0.01X、4-0.01X、5-0.01X (和光純薬工業株式会社) を等容量混合したもの

- ・高分解能質量数補正用試薬:パーフルオロケロセン (日本電子株式会社)
- ・アセトン、エタノール、ジクロロメタン、ヘキサン、ノナン:ダイオキシン類分析用 (関東化学株式会社製)
- ・ヘキサン洗浄水:残留農薬試験用 (関東化学株式会社製)
- ・塩化ナトリウム:残留農薬試験・PCB 試験用 (関東化学株式会社製)
- ・無水硫酸ナトリウム:PCB 試験用 (関東化学株式会社製)
- ・水酸化カリウム:特級 (関東化学株式会社製)
- ・アルミナ:ダイオキシン類分析用 (関東化学株式会社製)
- ・多層シリカゲルカラム:内径 15 mm、長さ 30 cm のカラムに無水硫酸ナトリウム 2 g、シリカゲル 0.9 g、44%硫酸シリカゲル 3 g、シリカゲル 0.9 g、及び無水硫酸ナトリウム 2 g が順次充填されたもの (ジーエルサイエンス株式会社製)
- ・アルミナカラム:内径 15 mm、長さ 30 cm のカラムに無水硫酸ナトリウム 2 g、アルミナ 15 g、無水硫酸ナトリウム 2 g を順次充填し作製した
- ・GC キャピラリーカラム:HT8-PCB (内径 0.25 mm×60 m) (関東化学株式会社製)

機器

- ・ GC : HP 6890 Series GC System Plus (Hewlett Packard 社製)
- ・ MS : JMS-700 (日本電子株式会社製)

分析法

[測定溶液の調製]

均一化した試料 20.0 g をビーカーに量りとり、クリーンアップスパイク 100 μ L を加えた後、1 mol/L 水酸化カリウム・エタノール溶液を 100 mL 加え室温で 16 時間、スターラーで攪拌した。このアルカリ分解液を分液ロートに移した後、水 100 mL、ヘキサン 100 mL を加え 10 分間振とう抽出した。静置後、ヘキサン層を分取し、水層にヘキサン 70 mL を加え同様の操作を 2 回行った。ヘキサン抽出液を合わせ、2%塩化ナトリウム溶液 100 mL を加えて緩やかに揺り動かし、静置後、水層を除き同様の操作を繰り返した。ヘキサン層の入った分液ロートに濃硫酸を適量加え、緩やかに振とうし、静置後、硫酸層を除去した。この操作を硫酸層の着色が薄くなるまで繰り返した。ヘキサン層をヘキサン洗浄水 10 mL で 2 回洗浄し、無水硫酸ナトリウムで脱水後、溶媒を減圧留去し約 2 mL のヘキサンの溶解した。この溶液を、ヘキサン 100 mL で洗浄した後の多層シリカゲルカラムに負荷し、ヘキサン 50 mL で溶出した。溶出液は溶媒を減圧留去し、約 2 mL のヘキサンに溶解

した。この溶液を、ヘキサンで湿式充填したアルミナカラム負荷し、ヘキサン 100 mL で洗浄後、20%(v/v)ジクロロメタン含有ヘキサン 100 mL で溶出した。溶媒を窒素気流下でほぼ完全に留去後、シリンジスパイク 100 μ L を加え、GC-MS 測定溶液とした。

[測定条件]

GC-MS による測定は、以下の条件で行った。

- ・ 注入方式 : スプリットレス
- ・ 注入口温度 : 280
- ・ 注入量 : 2.0 μ L
- ・ 昇温条件 : 100 (1 分保持) -20 /分 -180 -2 /分 -260 -5 /分 -300 (22 分保持)
- ・ MS 導入部温度 : 300
- ・ イオン源温度 : 300
- ・ イオン化法 : EI ポジティブ
- ・ イオン化電圧 : 38 eV
- ・ イオン化電流 : 600 μ A
- ・ 加速電圧 : ~ 10.0 kV
- ・ 分解能 : 10,000 以上

[分析対象および設定質量数]

分析対象は、PCBs 全 209 異性体とし、設定質量数は 2013 年度²⁾の分析と同様のパラメータを用いた。

[検量線の作成]

化学物質環境実態調査実施の手引き - 平成 20 年度版(環境省、平成 21 年 3 月) 及び、排ガス中の POPs 測定方法マニュアル(環境省、平成 23 年 3 月)(以下、マニュアル) を参考にして、相対感度係数(RRF) 法により検量線を作成した。

検量線作成用 PCBs 標準液(TPCB-CSL-A、CS1-A、CS2-A、CS3-A、CS4-A、CS5-A の 6 点) をそれぞれ 3 回測定し、それら標準液に含まれる分析対象異性体について計 18 点の測定値を得た。またクリーンアップスパイク標準液およびシリンジスパイク標準液を測定し、それら溶液に含まれる標識された異性体の測定値を得た。これら測定値のうち、検量線作成用 PCBs 標準液とクリーンアップスパイク標準液中の対応する異性体の測定値から RRF を、クリーンアップスパイク標準液とシリンジスパイク標準液中の対応する異性体の測定値から相対感度係数(RRF_{ss}) を算出した。検量線作成用 PCBs 標準液に含まれる分析対象異性体のうち、同一の化学構造をもつ標識された異性体がない場合には、クリーンアップスパイク標準液に含まれる全異性体から得られた測定値の平均値を使用して RRF を算出した。これら RRF 及び RRF_{ss} の変動は、10%(RSD%) 以内になることを目標とした。

検出下限および定量下限

操作ブランク試験を 5 回行い、検出された PCBs 異性体の測定値を確認したが、2014 年度の結果とほぼ同様であったことから、検出下限および定量下限は 2014 年度と同じ値とした。表 3 に本分析の検出下限および定量下限の値を示す。

測定溶液の測定

測定溶液の測定開始時には、正しく測定できることを確認するために、3 濃度の標準液を測定し、RRF 及び RRF_{ss} を求めた。これら測定開始時に得られた値が、検量線作成時の RRF 及び RRF_{ss} と比較し、 $\pm 15\%$ 以内にあることをもって、正しく測定できることの確認とした。

検量線作成時の RRF を用いて、測定溶液に含まれる各異性体を定量した。測定溶液から得られた異性体の信号が検量線の濃度範囲外となった場合は、外挿した。操作ブランク値が認められた異性体の定量では、操作ブランク値を差し引いた。なお、検量線作成用標準液に含まれない異性体の溶出位置は、209 全異性体を含む標準液を使用して決定した。また、RRF_s 値を用いクリーンアップスパイク標準液中の各異性体濃度を定量することで、定量精度が異常なく維持されていることを常に確認した。

3. 分析結果の取り扱い

本研究で採用した PCBs 分析法の定量下限値は極めて低値である。そのため、特に健康危害リスクへの影響を念頭に、津波被災と有害物質濃度との関係を明らかにするという目的を考慮すれば、採用した分析法により定量性の担保されないほどに低値の分析結果を取り扱うことに重要な意味は無い。このような判断から、定量下限値を下回った分析結果は不検出 (ND) とし、統計量の算出等には使用しなかった。

4. 主成分分析

本分析で得られた各異性体濃度より、同族体濃度および総 PCBs 濃度を計算し、各同族体濃度および各異性体濃度が総 PCBs 濃度に対して占める割合 (%) を求めた。これら割合をもとに相関行列から固有値、固有ベクトルおよび主成分得点を求めた。ソフトウェアは、Excel 多変量解析 Ver. 7.0 (株式会社エスミ) を用いた。また、2012 年度および 2014 年度に入手した魚の試料を分析した過去の結果^{2,3)}、カネクロール製品 (KC-300、KC-400、KC-500、KC-600、およびこれら 4 種の等量混合物 (KC-all))、および環境省が実施しているモニタリング結果 (調査年度は 2010 年度および 2013 年度の結果)

⁴⁾も併せて主成分分析を行った。

C. 結果および考察

1. 総 PCBs 濃度

分析した全 80 試料から得られた PCBs の各同族体濃度およびその総和である総 PCBs 濃度を表 4 および表 5 に、算出した基本統計量を表 6 に示す。また、全試料および各食品群における総 PCBs 濃度のヒストグラムを図 1 に示す。全 80 試料の平均値および中央値は、それぞれ 6.1 ng/g および 2.2 ng/g であった。また、ほとんどの試料において、総 PCBs 濃度は 15 ng/g を下回っていた。最大濃度を示した試料 (BFG2) の総 PCBs 濃度は 235 ng/g であったが、遠洋沖合魚介類の暫定的規制値 (0.5 ppm) の半分未満であった。

食品群別に着目した場合、平均値および中央値は、アイナメで 10 ng/g および 3.7 ng/g、カレイ・ヒラメで 1.7 ng/g および 1.2 ng/g であった。本年度の結果と同様に、2012 年度および 2014 年度においても、アイナメの総 PCBs 濃度はカレイ・ヒラメの総 PCBs 濃度よりも高い傾向を示した。文部科学省の食品成分データベースによると⁵⁾、アイナメ、カレイ (マコガレイ)、およびヒラメ (天然) の脂質割合はそれぞれ 3.4%、1.3%、および 2.0%であるとされている。PCBs は極性が

低いことから魚個体内では脂肪組織に比較的高濃度で分布していることが考えられる。従って、総 PCBs 濃度は魚中の脂質割合に依存しており、脂質割合が比較的大きいアイナメで総 PCBs 濃度がやや高い傾向を示したのではないかと考察した。

本年度に得られたアイナメおよびカレイ・ヒラメの総 PCBs 濃度を地域ごとにまとめ箱ひげ図に示した(図 2)。地域 B のアイナメでは前述したように最大濃度である 235 ng/g の総 PCBs 濃度を有する試料(BFG2)が含まれていることから、高濃度側に長いひげをひいている。総 PCBs 濃度の各中央値は、アイナメおよびカレイ・ヒラメの各食品群内でほぼ同程度の低い値を示していた。地域による違いを詳細に解析するために、ノンパラメトリック法による検定(Mann-Whitney の U 検定)を実施した。その結果、アイナメでは地域 A と地域 C の間(津波被災地域の間)で有意な差が認められた($p = 0.02$)。しかしながら、この地域間の差が津波被災の影響によるものであると断定することはできなかった。カレイ・ヒラメでは地域 A と地域 Y の間(津波被災地と津波非被災地の間)においても有意な差が認められ($p = 0.04$)、地域 A のアイナメの PCBs 濃度がやや高かった。一方で、2014 年度の津波非被災地(地域 K)

で得られたカレイ・ヒラメの総 PCBs 濃度³⁾と比較した場合、本年度の A 地域のカレイ・ヒラメの総 PCBs 濃度は顕著に低い結果となった。このことから、津波非被災地域間においても、水域の環境によって魚の総 PCBs 濃度に違いがみられることが明らかとなった。なお、津波非被災地域より地域 A のカレイ・ヒラメで総 PCBs 濃度がやや高かった原因が津波によるものであるかどうかを判断することはできなかった。

次に、本年度の総 PCBs 濃度を 2012 年度および 2014 年度の結果^{2,3)}と併せて集計し、食品群別に箱ひげ図にまとめた(図 3)。津波被災地におけるアイナメおよびカレイ・ヒラメの総 PCBs 濃度はいずれの年度も同程度であり、また津波非被災地域である地域 Y の総 PCBs 濃度とも同程度であった。一方で、2014 年度の地域 K における総 PCBs 濃度は、いずれの食品群においても高濃度側に分布していた。このことは、過去 3 年の結果を地域別にまとめた箱ひげ図(図 3)においても同様であった。なお、各津波非被災地域の試料数は津波被災地域の試料数と異なることに留意が必要である。

2. 各同族体濃度とその割合

総 PCBs 濃度に対する各同族体濃度の割合を表 7、表 8 および図 4 に示す。ほ

とんどの試料において、4 塩素化～7 塩素化 PCBs の構成割合が大きく、総 PCBs 濃度はこれら同族体の濃度を主としていることがわかった。また同族体割合は、多くのアイナメおよびカレイ・ヒラメで同様のパターンを示した。従って、PCBs の汚染源は両者ともに由来が類似していると考えられた。しかしながら、同族体割合が異なる試料も見受けられ、BFG3、BFG5、CFG3、AF10、BF7、および YF7 では 3 塩素化および 4 塩素化 PCBs の割合が他の試料と比較してやや大きかった。また、YFG6 や CF10 といった特徴的な同族体割合を呈する試料も確認された。日本近海の魚類に含まれる PCBs の汚染源は、KC-300、KC-400、KC-500、および KC-600 であると報告されており、特に KC-500 を主とした同族体割合や、KC-500 と KC-600 が 1:1 で混ざった同族体割合に類似しているとの報告がある⁶⁻¹¹⁾。今年度の調査で明らかとなった同族体割合のほとんどは、文献等で報告されている環境中の魚の同族体割合と類似していた。低塩素化 PCBs は揮発性が高く、グラスホッパー現象や大気中でのラジカル分解の影響を受けることで、高塩素化 PCBs と比較して環境中で速やかに減少傾向を示すと考えられている⁹⁾。このことから、比較的近い時期に新たな汚染源にさらされた場合、魚中の低塩素化 PCBs の割合

が大きくなる可能性がある。YFG6 試料の同族体割合は 3 塩素化 PCBs および 4 塩素化 PCBs で全体の 60%以上を占めており、このことから新たな汚染源による PCBs 汚染の可能性が考えられた。なお、この YFG6 は津波の影響を受けた可能性が低い対照地域の試料である。また、CF10 は 2 塩素化 PCBs の同位体割合が他の試料と比較して顕著に大きい試料であり、低塩素化 PCBs を多く含む汚染源にさらされた可能性が考えられた。

3 . 主な PCBs 異性体濃度とその割合

諸外国を中心に指標異性体による PCBs 分析も実施されており、存在量が比較的多い 7 異性体 (#28, #52, #101, #118, #138, #153, #180) については多くの国で測定対象とされている。さらに EU では Non-dioxin like PCBs の指標異性体として #118 を除いた 6 異性体について食品に基準値を設定している(魚、水産物及びその加工品は 75 ng/g)¹²⁾。今年度の調査において、上記 6 異性体濃度が最も高かった試料は、総 PCBs 濃度が最大値を示した BFG2 (総 PCBs 濃度は 235 ng/g) であり、その濃度は 74 ng/g であった(表 9 および表 10)。総 PCBs 濃度に対する 6 異性体濃度の割合は全 80 試料で 23～40% であり、平均は 33% であった。また、上記 6 異性体に #118 を加えた 7 異性体濃度の

総 PCBs に対する割合は 25～48%（平均 40%）であった。

2 塩素化 PCBs の同位体割合が他の試料と比較して顕著に大きかった CF10 に着目すると、#11 だけで総 PCBs 濃度の 11% を占めていた。#11 は 3,3'-ジクロロベンジジン類から生成されるアゾ顔料中の副生 PCB 異性体であることが知られている（図 5）^{13,14)}。従って、CF10 の汚染源はアゾ顔料の副生 PCB 異性体であることが推察された。#11 の異性体割合が大きい試料は 1 試料のみであることから、広範囲ではなくホットスポットで汚染された可能性が高いが、これが津波の影響によるものであるかを判断することは困難であった。

4．主成分分析（同族体割合）

本年度に得られた全 80 試料の同族体割合に加え、2012 年度（全 101 試料）および 2014 年度（全 80 試料）に実施した調査で得られた同族体割合^{2,3)}、KC 製品の同族体割合、そして環境省から毎年度報告されている「化学物質と環境」のモニタリング調査⁴⁾から 2010 年度（東日本大震災前）および 2013 年度（東日本大震災後）に報告されたムラサキイガイ（岩手）およびアイナメ（岩手）の同族体割合を用いて主成分分析を行った。

主成分分析の結果、第 1 成分および第

2 成分の寄与率はそれぞれ 39%および 21%であり、この 2 つの成分の累積寄与率は 60%であった（表 11）。図 6 に第 5 成分までの固有ベクトルを示す。第 1 成分は 1 塩素化 PCBs から 5 塩素化 PCBs までは正の値を、6 塩素化 PCBs から 10 塩素化 PCBs までは負の値を示した。このことから、第 1 成分は PCBs の同族体分布が低塩素側あるいは高塩素側のどちらの同族体を多く含むかを表す指標になると考えた。また第 2 成分は 4 塩素化 PCBs および 5 塩素化 PCBs で正の値を示したことから、塩素含有量が中程度の PCBs が多いかどうかを表していると考えた。第 3 および第 4 成分の固有値も 1 を超えていたが、これら成分を説明することはできなかった。

図 7 に第 1 成分と第 2 成分を用いた主成分得点プロットを示す。ほとんどの試料は大きな集団を形成していることから、これら試料の同族体割合は類似しているといえる。これは、前述した同族体割合（図 4）や本研究における過去の結果^{2,3)}で得られた知見を支持するものである。また、2010 年度の環境省モニタリング試料の結果⁴⁾もこの集団内にプロットされていることから、ほとんどの試料において同族体割合は環境中における典型的なパターンを有すると考えられる。なお各 KC 溶液は、含有する同族体割合がそれぞ

れ異なることから、試料が形成している集団とは異なる位置にプロットされたが、KC-500はこの集団にやや近接していた。前述したように、日本近海の魚類に含まれるPCBsの汚染源はKC-500を主とした同族体割合に類似しているとの報告がなされており⁶⁻¹¹⁾、今回の主成分分析はこれを裏付ける結果となった。

同族体割合が異なるCF10やYFG6は集団から離れた場所にプロットされており、同族体割合の違いが主成分分析の結果からも確認することができた。YFG6はKC-300やKC-400が位置する第4象限にプロットされており、これら低塩素化PCBsを多く含む汚染源の影響を受けた可能性が考えられた。また図4のグラフでは明瞭ではなかったが、BFG2の同族体割合も他の試料とはやや異なり、5塩素化PCBsの割合がやや大きいことが明らかとなった。さらに、2014年度の試料(BSB52およびKSB74)からも同族体割合がやや異なる試料を分別することができた。一方で、食品種や漁獲地域の違いを区別することはできなかった。

5. 主成分分析(異性体割合)

同族体割合を用いた主成分分析から同位体割合が異なる試料を把握することができたが、さらなる可能性を検討するために、高分解能GC-MSによるPCBs全209

異性体分析の利点を活かし、異性体割合を用いた主成分分析を行った。対象とした異性体は、過去の文献¹³⁾や本研究の結果を踏まえ、主要と考えられる19種の異性体(#11, #18, #28, #31, #44, #52, #70, #77, #81, #101, #118, #126, #138, #149, #153, #169, #180, #189, #194)とした。

主成分分析によって得られた固有値を表12に、また第5成分までの固有ベクトルを図8に示す。第1成分および第2成分の寄与率はそれぞれ36%および15%であった。第1成分では、塩素含有量が少ない異性体は正の値、塩素含有量が高い異性体は負の値であった。第2成分も塩素含有量を説明しており、塩素含有量が中程度の異性体は正の値を示すと考えた。興味深いことに、第4成分には燃焼由来で生成すると報告されている#126、#169、および#189の3種の異性体が、第5成分には前述したアゾ顔料中の副生PCB異性体である#11および#77が、それぞれ大きな正の値を示した。一方、第3成分を説明することはできなかった。

次に、第1成分と第2成分、第1成分と第4成分、および第1成分と第5成分の主成分得点プロットを図9~図11に示す。いずれの主成分得点プロットにおいても、同族体割合を用いた主成分分析と同様、ほとんどの試料はKC-500とKC-600に近くで大きな集団を形成して

いた。異性体割合を用いた主成分分析においても YFG6 および BSB52 は集団から離れた位置にプロットされており(図9)、YFG6 は KC-300 や KC-400 に、BSB52 は KC-500 に近いことが改めて確認できた。また、この主成分分析に用いた 19 種の異性体だけに着目した場合、2014 年度の試料である AF45 は KC-300、KC-400、KC-500、および KC-600 を等量混合したときの同位体割合と類似していることが明らかとなった(図9)。第1成分と第4成分との主成分得点プロットでは、燃烧由来の PCBs 異性体割合が大きくなるほど第4成分において正の方向(第2および第3象限)へシフトすることが考えられたが、この方向に大きな絶対値を有する試料は認められなかった(図10)。過去の文献においても、魚中には燃烧由来の PCBs の割合が小さいことが報告されており⁶⁾、本結果はそれを支持するものであった。最後に、CF10 はアゾ顔料中の副生 PCB 異性体である#11 を多く含む試料であったことから、第1成分と第5成分との主成分得点プロットでは他の試料で形成される集団から大きく離れた位置にプロットされた(図11)。

今回の主成分分析では、主要な異性体を用いることで、情報を有効に代表させながら簡略化を図ったが、特徴的な他の異性体や PCBs を含む他の製品や海水、

底質の異性体割合データなどを加えることで、さらに有効な情報が得られると期待される。また、同族体割合を用いた場合に比べ、異性体割合を利用した場合は起源を推定することが比較的容易であり、同族体割合だけでは埋もれている情報を浮き彫りにすることができる強力な手法になり得る可能性が高い。以上のことから、総 PCBs 濃度だけでなく PCBs 全 209 異性体濃度までをも明らかにできる高分解能 GC-MS を用いた本分析法は、今後の PCBs 分析において重要な位置づけにあるといえる。

6. まとめ

本年度は、津波被災地域(3地域)および津波非被災地域(1地域)からアイナメおよびカレイ・ヒラメを購入し、計80食品のポリ塩化ビフェニル類(PCBs)濃度実態を調査した。高分解能 GC-MS による PCBs 全 209 異性体分析の結果、総 PCBs 濃度は全ての試料において暫定的規制値(遠洋沖合魚介類:0.5 ppm)を下回っており、PCBs で高濃度に汚染された試料は認められなかった。一部の津波被災地域の間で総 PCBs 濃度に差が認められたが、本年度および2014年度に調査した津波非被災地域間の総 PCBs 濃度の差と比較するとその差は小さいことから、憂慮すべき必要はないと考えられた。総

PCBs 濃度に対する各同族体の割合を算出して解析したところ、ほとんどの試料において4塩素化～7塩素化 PCBs の構成割合が大きく、カネクロール (KC) 由来の PCBs 同族体割合を反映した環境中の魚の同族体割合と類似していた。同族体割合が異なる試料も一部で認められ、異性体ごとの割合や主成分分析を用いた詳細な解析により、アゾ顔料の副生 PCB による汚染が疑われた。しかしながら、これらが津波の影響によるものであるかを判断するには至らなかった。津波非被災地域においても、地域によって魚の PCBs 濃度に差が認められたことから、他の津波非被災地域の実態も把握し、これまでの結果と併せてより詳細に解析することが重要であると考えられる。

E. 参考文献

- 1) 平成 24 年度厚生労働科学研究費補助金研究報告書「震災に起因する食品中の放射性物質ならびに有害物質の実態に関する研究」(研究分担報告書 震災・津波による食品の化学物質汚染実態の調査)
- 2) 平成 25 年度厚生労働科学研究費補助金研究報告書「震災に起因する食品中の放射性物質ならびに有害物質の実態に関する研究」(研究分担報告書 震災・津波による食品の化学物質汚染実態の調査)
- 3) 平成 26 年度厚生労働科学研究費補助金研究報告書「震災に起因する食品中の放射性物質ならびに有害物質の実態に関する研究」(研究分担報告書 震災・津波による食品の化学物質汚染実態の調査)
- 4) 環境省 . 化学物質と環境 . <http://www.env.go.jp/chemi/kurohon/>
- 5) 文部科学省 . 食品成分データベース . <http://fooddb.mext.go.jp/>
- 6) 氏家愛子, 長船達也, 大江浩 . 魚介類中の PCB 濃度と残留形態 . 宮城県保健環境センター年報, **20**, 75-79 (2002) .
- 7) 武志保, 剣持堅志, 難波順子, 門田実 . PCB 全異性体分析法を用いた魚介類の実態調査 . 岡山県環境保健センター年報, **26**, 65-72 (2002) .
- 8) 平間祐志 . 四重極 GC/MS による魚類に残留する *non-ortho* コプラナー PCB の定量に関する研究 . 道衛研所報, **53**, 68-73 (2003) .
- 9) 阿久津和彦, 桑原克義, 小西良昌, 松本比佐志, 村上保行, 田中之雄, 松田りえ子, 堀伸二郎 . GC/MS による食品中のポリ塩化ビフェニルの異性体分析 . 食品衛生学雑誌, **46**, 99-108 (2005) .
- 10) 津野洋, 新海貴史, 中野武, 永禮英明 . 瀬戸内海における PCB の組成特製と期限推定に関する研究 . 水環境学会誌, **30**, 457-462 (2007) .
- 11) 安藤良, 渡辺正敏, 山守英朋 .

GC/MS/MS による底質及び魚類中の PCB 異性体分析の検討及びその汚染状況。名古屋市環境科学研究所所報, **38**, 31-40 (2008)。

12) 欧州食品安全機関。Opinion of the scientific panel on contaminants in the food chain on a request from the Commission related to the presence of non dioxin-like polychlorinated biphenyls (PCB) in feed and food. EFSAJ. **284**, 1-137 (2005)。

13) 中野武, 姉崎克典, 高橋玄太, 俵健二。有機顔料製造過程での PCB 生成 環境化学, **23**, 107-114 (2013)。

14) 経済産業省。有機顔料中に副生する PCB の工業技術的・経済的に低減可能なレベルに関する報告書 (2016)。

E. 健康危険情報

なし

F. 研究発表

1 . 論文発表

Uekusa, Y., Takatsuki, S., Tsutsumi, T., Akiyama, H., Matsuda, R., Teshima, R., Hachisuka, A., Watanabe, T. Determination of polychlorinated biphenyls in marine fish

obtained from tsunami-stricken areas of Japan. 投稿中。

2 . 学会発表

Uekusa, Y., Takatsuki, S., Tsutsumi, T., Matsuda, R., Akiyama, H., Hachisuka, A., Teshima, R., and Watanabe, T. “Follow-up investigation of polychlorinated biphenyl concentrations in fish from tsunami-stricken areas of Japan”, *35th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (Dioxin 2015)*, São Paulo (Brasil), August (2015).

G. 知的所有権の取得状況

1 . 特許取得

なし

2 . 実用新案登録

なし

3 . その他

なし

表1 購入食品表（アイナメ）

試料コード	購入地域	食品群	食品種	商品詳細
AFG1	青森	アイナメ	アイナメ	アイナメ
AFG2	青森	アイナメ	アイナメ	アイナメ
AFG3	青森	アイナメ	アイナメ	アイナメ
AFG4	青森	アイナメ	アイナメ	アイナメ
AFG5	青森	アイナメ	アイナメ	アイナメ
AFG6	青森	アイナメ	アイナメ	アイナメ
AFG7	青森	アイナメ	アイナメ	アイナメ
AFG8	青森	アイナメ	アイナメ	アイナメ
AFG9	青森	アイナメ	アイナメ	アイナメ
AFG10	青森	アイナメ	アイナメ	アイナメ
BFG1	岩手	アイナメ	アイナメ	アイナメ
BFG2	岩手	アイナメ	アイナメ	アイナメ
BFG3	岩手	アイナメ	アイナメ	アイナメ
BFG4	岩手	アイナメ	アイナメ	アイナメ
BFG5	岩手	アイナメ	アイナメ	アイナメ
BFG6	岩手	アイナメ	アイナメ	アイナメ
BFG7	岩手	アイナメ	アイナメ	アイナメ
BFG8	岩手	アイナメ	アイナメ	アイナメ
BFG9	岩手	アイナメ	アイナメ	アイナメ
BFG10	岩手	アイナメ	アイナメ	アイナメ
CFG1	宮城	アイナメ	アイナメ	アイナメ
CFG2	宮城	アイナメ	アイナメ	アイナメ
CFG3	宮城	アイナメ	アイナメ	アイナメ
CFG4	宮城	アイナメ	アイナメ	アイナメ
CFG5	宮城	アイナメ	アイナメ	アイナメ
CFG6	宮城	アイナメ	アイナメ	アイナメ
CFG7	宮城	アイナメ	アイナメ	アイナメ
CFG8	宮城	アイナメ	アイナメ	アイナメ
CFG9	宮城	アイナメ	アイナメ	アイナメ
CFG10	宮城	アイナメ	アイナメ	アイナメ
YFG1	山形	アイナメ	アイナメ	アイナメ
YFG2	山形	アイナメ	アイナメ	アイナメ
YFG3	山形	アイナメ	アイナメ	アイナメ
YFG4	山形	アイナメ	アイナメ	アイナメ
YFG5	山形	アイナメ	アイナメ	アイナメ
YFG6	山形	アイナメ	アイナメ	アイナメ
YFG7	山形	アイナメ	アイナメ	アイナメ
YFG8	山形	アイナメ	アイナメ	アイナメ
YFG9	山形	アイナメ	アイナメ	アイナメ
YFG10	山形	アイナメ	アイナメ	アイナメ

表2 購入食品表(カレイ・ヒラメ)

試料コード	購入地域	食品群	食品種	商品詳細
AF1	青森	カレイ・ヒラメ	ヒラメ	ヒラメ
AF2	青森	カレイ・ヒラメ	カレイ	マコガレイ
AF3	青森	カレイ・ヒラメ	カレイ	ナメタガレイ
AF4	青森	カレイ・ヒラメ	ヒラメ	ヒラメ
AF5	青森	カレイ・ヒラメ	ヒラメ	ヒラメ
AF6	青森	カレイ・ヒラメ	ヒラメ	ヒラメ
AF7	青森	カレイ・ヒラメ	ヒラメ	ヒラメ
AF8	青森	カレイ・ヒラメ	ヒラメ	ヒラメ
AF9	青森	カレイ・ヒラメ	カレイ	カレイ
AF10	青森	カレイ・ヒラメ	カレイ	マツカワカレイ
BF1	岩手	カレイ・ヒラメ	ヒラメ	ヒラメ
BF2	岩手	カレイ・ヒラメ	カレイ	マガレイ
BF3	岩手	カレイ・ヒラメ	カレイ	マガレイ
BF4	岩手	カレイ・ヒラメ	カレイ	マガレイ
BF5	岩手	カレイ・ヒラメ	ヒラメ	ヒラメ
BF6	岩手	カレイ・ヒラメ	ヒラメ	ヒラメ
BF7	岩手	カレイ・ヒラメ	カレイ	マガレイ
BF8	岩手	カレイ・ヒラメ	カレイ	マガレイ
BF9	岩手	カレイ・ヒラメ	ヒラメ	ヒラメ
BF10	岩手	カレイ・ヒラメ	ヒラメ	ヒラメ
CF1	宮城	カレイ・ヒラメ	カレイ	ナメタガレイ
CF2	宮城	カレイ・ヒラメ	ヒラメ	ヒラメ
CF3	宮城	カレイ・ヒラメ	カレイ	カレイ
CF4	宮城	カレイ・ヒラメ	カレイ	柳かれい
CF5	宮城	カレイ・ヒラメ	カレイ	真がれい
CF6	宮城	カレイ・ヒラメ	ヒラメ	ヒラメ
CF7	宮城	カレイ・ヒラメ	カレイ	真かれい
CF8	宮城	カレイ・ヒラメ	ヒラメ	ヒラメ
CF9	宮城	カレイ・ヒラメ	カレイ	ダルマカレイ
CF10	宮城	カレイ・ヒラメ	ヒラメ	ヒラメ
YF1	山形	カレイ・ヒラメ	ヒラメ	ヒラメ
YF2	山形	カレイ・ヒラメ	カレイ	大羽カレイ
YF3	山形	カレイ・ヒラメ	カレイ	モクガレイ
YF4	山形	カレイ・ヒラメ	カレイ	真カレイ
YF5	山形	カレイ・ヒラメ	ヒラメ	ヒラメ
YF6	山形	カレイ・ヒラメ	カレイ	口細ガレイ
YF7	山形	カレイ・ヒラメ	カレイ	マガレイ
YF8	山形	カレイ・ヒラメ	ヒラメ	ヒラメ
YF9	山形	カレイ・ヒラメ	ヒラメ	ヒラメ
YF10	山形	カレイ・ヒラメ	ヒラメ	ヒラメ

表3 PCBs分析法の検出下限
および定量下限の値

PCBs	Isomer (IUPAC No.)	検出下限値 (ng/g)	定量下限値 (ng/g)	PCBs	Isomer (IUPAC No.)	検出下限値 (ng/g)	定量下限値 (ng/g)	
MoCB	#1	0.00034	0.00011	PeCB	#106	0.00010	0.00034	
	#2	0.00035	0.00012		#108	0.00010	0.00034	
	#3	0.00088	0.0029		#109/#107	0.00010	0.00034	
DiCB	#4	0.00071	0.00024	#111	0.00010	0.00034		
	#6	0.00060	0.00020	#112/#119	0.00010	0.00034		
	#7	0.00060	0.00020	#113	0.00010	0.00034		
	#8/#5	0.00080	0.0027	#114	0.00010	0.00033		
	#9	0.00060	0.00020	#118	0.00017	0.00057		
	#10	0.00043	0.00014	#120/#110	0.00044	0.0015		
	#11	0.00093	0.0031	#121	0.00010	0.00034		
	#13/#12	0.00073	0.00024	#122	0.00010	0.00034		
	#14	0.00060	0.00020	#123	0.00015	0.00050		
	#15	0.00075	0.0025	#124	0.00010	0.00034		
	TrCB	#16	0.00014	0.00047	#125/#116	0.00010	0.00034	
		#17	0.00020	0.00067	#126	0.00016	0.00053	
		#18	0.00051	0.0017	#127	0.00010	0.00034	
		#19	0.00080	0.0027	HxCB	#128	0.000079	0.00026
		#20/#33	0.00049	0.0016		#129	0.000079	0.00026
#21		0.00057	0.00019	#130		0.000079	0.00026	
#22		0.00046	0.0015	#131		0.000079	0.00026	
#23		0.00057	0.00019	#132		0.000079	0.00026	
#24		0.00057	0.00019	#133		0.000079	0.00026	
#25		0.00057	0.00019	#134		0.000079	0.00026	
#26		0.00016	0.00053	#135		0.000079	0.00026	
#27		0.00057	0.00019	#136		0.000079	0.00026	
#28		0.00075	0.0025	#137		0.000079	0.00026	
#29		0.00057	0.00019	#138		0.00048	0.0016	
#30		0.00057	0.00019	#140		0.000079	0.00026	
#31		0.00039	0.0013	#141		0.000079	0.00026	
#32		0.00013	0.00044	#142		0.000079	0.00026	
#34		0.00057	0.00019	#143		0.000079	0.00026	
#35		0.00063	0.00021	#144		0.000079	0.00026	
#36		0.00057	0.00019	#145		0.000079	0.00026	
#37		0.00045	0.0015	#146		0.000079	0.00026	
#38		0.00067	0.0022	#147	0.000079	0.00026		
#39		0.00057	0.00019	#148	0.000079	0.00026		
TeCBs		#40	0.00087	0.0029	#149/#139	0.00030	0.00098	
		#41	0.00067	0.0022	#150	0.00079	0.00026	
		#42	0.00020	0.00066	#151	0.00079	0.00026	
		#43	0.00067	0.0022	#152	0.00079	0.00026	
		#44	0.00067	0.0022	#153	0.00039	0.0013	
		#45	0.00073	0.00024	#154	0.00079	0.00026	
		#46	0.00067	0.0022	#155	0.00072	0.00024	
		#48/#47	0.00018	0.00061	#156	0.00063	0.00021	
		#49	0.00030	0.00099	#157	0.00078	0.00026	
		#50	0.00067	0.0022	#158	0.00079	0.00026	
		#51	0.00067	0.0022	#159	0.00079	0.00026	
		#52/#69	0.00027	0.00089	#160	0.00079	0.00026	
		#53	0.00067	0.0022	#161	0.00079	0.00026	
		#54	0.00040	0.0013	#162	0.00095	0.00032	
		#55	0.00067	0.0022	#164/#163	0.00079	0.00026	
		#56	0.00047	0.0016	#165	0.00079	0.00026	
	#57	0.00044	0.0015	#166	0.00079	0.00026		
	#58	0.00067	0.0022	#167	0.00059	0.00020		
	#59	0.00015	0.00050	#168	0.00079	0.00026		
	#60	0.00029	0.00096	#169	0.00012	0.00041		
	#61	0.00067	0.0022	HeCB	#170	0.00018	0.00059	
	#62	0.00067	0.0022		#171	0.00012	0.00041	
	#63	0.00067	0.0022		#172	0.00012	0.00041	
	#64	0.00022	0.00073		#173	0.00012	0.00041	
	#65/#75	0.00067	0.0022		#174	0.00012	0.00041	
	#66	0.00056	0.0019		#175	0.00012	0.00041	
	#67	0.00067	0.0022		#176	0.00012	0.00041	
	#68	0.00067	0.0022		#177	0.00012	0.00041	
	#70	0.00053	0.0018		#178	0.00012	0.00041	
	#71	0.00028	0.00093		#179	0.00012	0.00041	
	#72	0.00067	0.0022		#180	0.00010	0.00033	
	#73	0.00067	0.0022	#181	0.00012	0.00041		
	#74	0.00027	0.00090	#182/#187	0.00081	0.00027		
	#76	0.00067	0.0022	#183	0.00012	0.00041		
	#77	0.00091	0.00030	#184	0.00012	0.00041		
	#78	0.00076	0.00025	#185	0.00012	0.00041		
	#79	0.00065	0.00022	#186	0.00012	0.00041		
	#80	0.00067	0.0022	#188	0.00066	0.00022		
	#81	0.00091	0.00030	#189	0.00019	0.00065		
	PeCB	#82	0.00010	0.00034	#190	0.00012	0.00041	
		#83	0.00010	0.00034	#191	0.00012	0.00041	
#84		0.00010	0.00034	#192	0.00012	0.00041		
#85		0.00010	0.00034	#193	0.00012	0.00041		
#86/#117/#97		0.00010	0.00034	OcCB	#194	0.00030	0.0010	
#87/#115		0.00017	0.00057		#195	0.00029	0.00095	
#88		0.00010	0.00034		#196	0.00038	0.0013	
#89		0.00010	0.00034		#197	0.00038	0.0013	
#90		0.00010	0.00034		#198	0.00038	0.0013	
#91		0.00010	0.00034		#199	0.00038	0.0013	
#92		0.00010	0.00034		#200	0.00052	0.0017	
#94		0.00010	0.00034		#201	0.00038	0.0013	
#96		0.00010	0.00034		#202	0.00035	0.0012	
#98/#95		0.00033	0.0011		#203	0.00048	0.0016	
#99		0.00014	0.00047		#204	0.00038	0.0013	
#100		0.00010	0.00034		#205	0.00034	0.0011	
#101		0.00027	0.00089	NoCB	#206	0.00071	0.0024	
#102/#93		0.00010	0.00034		#207	0.00059	0.0020	
#103		0.00010	0.00034		#208	0.00048	0.0016	
#104		0.00063	0.00021	DeCB	#209	0.00025	0.00083	
#105		0.00012	0.00041					

表 4 各同族体濃度および総 PCBs 濃度 (ng/g) (アイナメ)

	MoCBs	DiCBs	TrCBs	TeCBs	PeCBs	HxCBs	HpCBs	OcCBs	NoCBs	DeCB	Total PCBs
AFG1	0.0013	0.023	0.079	0.37	0.99	1.7	0.61	0.12	0.012	0.0043	3.9
AFG2	0.00046	0.012	0.032	0.12	0.27	0.48	0.23	0.037	0	0.00091	1.2
AFG3	0.00065	0.0073	0.12	0.61	1.3	1.5	0.47	0.086	0.013	0.0071	4.1
AFG4	0.00031	0.00036	0.040	0.20	0.59	0.94	0.35	0.067	0.011	0.0059	2.2
AFG5	0.00049	0	0.026	0.13	0.41	0.78	0.36	0.073	0.011	0.0051	1.8
AFG6	0.00025	0.00034	0.039	0.21	0.65	1.1	0.43	0.070	0.015	0.0087	2.5
AFG7	0.00027	0.00032	0.014	0.090	0.32	0.62	0.31	0.054	0.0036	0.0022	1.4
AFG8	0.0031	0.023	0.20	0.89	2.7	3.8	1.4	0.23	0.022	0.0087	9.3
AFG9	0.00047	0.00027	0.020	0.12	0.40	0.68	0.31	0.046	0.0036	0.0021	1.6
AFG10	0.00057	0.0060	0.035	0.27	1.2	2.4	1.1	0.23	0.035	0.020	5.3
BFG1	0.0011	0.0039	0.036	0.15	0.80	0.90	0.26	0.040	0.0030	0.0016	2.2
BFG2	0.0017	0.018	0.35	15	106	101	13	0.94	0.062	0.019	235
BFG3	0.00093	0.045	0.87	2.5	3.2	3.3	1.2	0.20	0.016	0.0028	11
BFG4	0.00058	0	0.040	0.22	0.95	1.3	0.40	0.068	0.0081	0.0030	3.0
BFG5	0.0010	0.044	0.72	1.4	1.7	2.2	0.98	0.19	0.016	0.0024	7.2
BFG6	0.00026	0	0.027	0.19	1.1	1.4	0.35	0.049	0.0060	0.0027	3.1
BFG7	0.00013	0	0.022	0.071	0.19	0.39	0.20	0.042	0.0034	0.0016	0.92
BFG8	0.00055	0.012	0.36	1.1	1.7	2.7	1.4	0.28	0.025	0.0040	7.6
BFG9	0.00035	0.00064	0.070	0.17	0.33	0.68	0.37	0.075	0.0052	0.0014	1.7
BFG10	0.00049	0	0.028	0.17	0.62	1.2	0.61	0.12	0.013	0.0055	2.8
CFG1	0.0017	0.010	0.089	0.56	1.5	3.0	1.2	0.24	0.024	0.011	6.7
CFG2	0.00078	0.011	0.10	0.46	1.1	1.9	0.79	0.21	0.034	0.026	4.6
CFG3	0.0014	0.042	0.45	0.95	1.1	1.1	0.26	0.045	0.0055	0.0055	4.0
CFG4	0.00075	0.028	0.37	1.5	2.9	4.0	1.4	0.29	0.027	0.016	11
CFG5	0.0012	0.041	0.53	2.6	5.7	8.6	3.2	0.71	0.058	0.030	22
CFG6	0.0014	0.055	0.48	1.2	1.8	2.1	0.58	0.12	0.016	0.011	6.4
CFG7	0.00030	0.013	0.22	0.64	0.85	0.88	0.25	0.059	0.010	0.0083	2.9
CFG8	0.00060	0.013	0.24	0.86	1.5	1.9	0.66	0.14	0.017	0.011	5.3
CFG9	0.00072	0.013	0.22	0.74	1.1	1.2	0.34	0.057	0.0082	0.0081	3.6
CFG10	0.00064	0.013	0.22	0.69	0.94	0.97	0.27	0.047	0.0066	0.0071	3.2
YFG1	0.0013	0.023	0.031	0.11	0.21	0.37	0.15	0.032	0	0.0010	0.93
YFG2	0.0011	0.0064	0.085	0.44	1.3	1.8	0.46	0.079	0.016	0.011	4.3
YFG3	0.0013	0.0096	0.092	0.37	1.3	1.9	0.46	0.079	0.013	0.0071	4.2
YFG4	0.0011	0.0064	0.086	0.60	1.8	2.2	0.75	0.12	0.017	0.012	5.6
YFG5	0.0012	0.0068	0.069	0.29	0.66	0.65	0.21	0.027	0.0030	0.0030	1.9
YFG6	0.0012	0.21	4.7	5.2	1.8	1.5	0.44	0.060	0.0087	0.0050	14
YFG7	0.00055	0.0012	0.041	0.24	0.97	1.8	0.64	0.14	0.031	0.022	3.9
YFG8	0.00047	0.0081	0.072	0.21	0.49	0.85	0.41	0.091	0.0091	0.0036	2.1
YFG9	0.00030	0	0.021	0.16	0.61	1.1	0.39	0.072	0.016	0.0098	2.4
YFG10	0.00055	0	0.021	0.12	0.44	0.98	0.49	0.10	0.017	0.011	2.2

MoCBs : 1 塩素体化 PCBs、DiCBs : 2 塩素体化 PCBs、TrCBs : 3 塩素体化 PCBs、TeCBs : 4 塩素体化 PCBs、PeCBs : 5 塩素体化 PCBs、HxCBs : 6 塩素体化 PCBs、HpCBs : 7 塩素体化 PCBs、OcCBs : 8 塩素体化 PCBs、NoCBs : 9 塩素体化 PCBs、DeCB : 10 塩素体化 PCBs

表 5 各同族体濃度および総 PCBs 濃度 (ng/g) (カレイ・ヒラメ)

	MoCBs	DiCBs	TrCBs	TeCBs	PeCBs	HxCBs	HpCBs	OcCBs	NoCBs	DeCB	Total PCBs
AF1	0.00048	0.0062	0.037	0.13	0.31	0.39	0.14	0.022	0	0.0024	1.0
AF2	0.00035	0.0033	0.028	0.14	0.42	0.60	0.25	0.041	0.0025	0.0017	1.5
AF3	0.00028	0	0.014	0.092	0.23	0.44	0.16	0.034	0.0032	0.0042	0.98
AF4	0.00068	0.0042	0.015	0.095	0.24	0.35	0.11	0.019	0	0.0010	0.83
AF5	0.00069	0.0041	0.038	0.13	0.28	0.39	0.16	0.029	0	0.0015	1.0
AF6	0.00063	0	0.016	0.13	0.35	0.53	0.14	0.058	0.0023	0.0054	1.2
AF7	0.0016	0.024	0.044	0.18	0.48	0.61	0.22	0.033	0.0027	0.0024	1.6
AF8	0.0011	0.028	0.098	0.39	0.83	1.7	1.3	0.26	0.015	0.0025	4.6
AF9	0.00074	0.0036	0.057	0.25	0.61	0.80	0.31	0.051	0.0055	0.0035	2.1
AF10	0.0018	0.039	0.26	0.64	0.96	0.87	0.27	0.033	0	0.0014	3.1
BF1	0.00062	0.00042	0.055	0.22	0.47	0.61	0.22	0.039	0.0074	0.0061	1.6
BF2	0.00061	0.00091	0.037	0.19	0.62	0.65	0.20	0.045	0.0052	0.0022	1.8
BF3	0.00043	0.00041	0.031	0.083	0.19	0.41	0.24	0.056	0.0045	0.0012	1.0
BF4	0.00057	0.00027	0.056	0.19	0.29	0.60	0.37	0.092	0.0055	0.0018	1.6
BF5	0	0.00063	0.021	0.074	0.18	0.30	0.11	0.019	0	0	0.70
BF6	0	0	0.0096	0.060	0.20	0.31	0.093	0.015	0	0.0027	0.69
BF7	0.00083	0.0075	0.19	0.56	0.81	1.2	0.38	0.077	0.0038	0.0013	3.2
BF8	0.00020	0	0.065	0.28	0.83	1.0	0.36	0.10	0.012	0.0030	2.6
BF9	0.00016	0	0.015	0.067	0.24	0.31	0.11	0.023	0	0.0012	0.77
BF10	0.00045	0.0051	0.044	0.15	0.29	0.34	0.12	0.019	0	0	0.97
CF1	0.00088	0.0069	0.038	0.16	0.42	0.59	0.18	0.045	0.0079	0.0086	1.5
CF2	0.0019	0.028	0.21	0.91	2.1	2.4	0.90	0.15	0.031	0.057	6.8
CF3	0.0012	0.0098	0.090	0.40	0.76	0.94	0.34	0.066	0.0074	0.0066	2.6
CF4	0.00025	0.00033	0.012	0.070	0.13	0.19	0.068	0.013	0.0032	0.0066	0.49
CF5	0.00079	0.0073	0.031	0.13	0.23	0.33	0.15	0.033	0.0028	0.0046	0.92
CF6	0.00063	0.0099	0.10	0.48	1.1	1.3	0.49	0.082	0.014	0.011	3.7
CF7	0	0.00042	0.013	0.068	0.12	0.17	0.046	0.0095	0	0.0033	0.43
CF8	0.0012	0.011	0.060	0.27	0.64	0.79	0.24	0.039	0.0045	0.0041	2.1
CF9	0	0.00024	0.020	0.11	0.23	0.36	0.18	0.054	0.0056	0.0055	0.98
CF10	0.0013	0.38	0.082	0.41	0.83	1.1	0.47	0.11	0.015	0.012	3.4
YF1	0.00053	0.0067	0.0097	0.051	0.17	0.19	0.056	0.0036	0	0	0.48
YF2	0.00045	0.0061	0.042	0.24	0.69	0.94	0.34	0.059	0.011	0.0098	2.3
YF3	0.00056	0.0051	0.030	0.14	0.33	0.41	0.13	0.027	0.0036	0.0053	1.1
YF4	0.00062	0	0.020	0.081	0.16	0.23	0.081	0.019	0.0024	0.0044	0.59
YF5	0.00017	0	0.013	0.12	0.47	0.57	0.16	0.021	0.0026	0.0027	1.4
YF6	0	0	0.020	0.13	0.34	0.52	0.20	0.044	0.011	0.011	1.3
YF7	0.00062	0.0031	0.031	0.14	0.27	0.29	0.096	0.019	0.0027	0.0045	0.86
YF8	0.00060	0	0.0060	0.052	0.20	0.29	0.10	0.015	0	0.0023	0.67
YF9	0.00018	0	0.0051	0.052	0.27	0.37	0.096	0.015	0	0.0021	0.81
YF10	0	0	0.0091	0.056	0.21	0.30	0.11	0.017	0	0.0027	0.71

MoCBs : 1 塩素体化 PCBs、DiCBs : 2 塩素体化 PCBs、TrCBs : 3 塩素体化 PCBs、TeCBs : 4 塩素体化 PCBs、PeCBs : 5 塩素体化 PCBs、HxCBs : 6 塩素体化 PCBs、HpCBs : 7 塩素体化 PCBs、OcCBs : 8 塩素体化 PCBs、NoCBs : 9 塩素体化 PCBs、DeCB : 10 塩素体化 PCBs

表 6 総 PCBs 濃度の基本統計量

[ng/g]	魚 80 試料 PCBs 濃度										
	アイナメ(FG)					カレイ・ヒラメ(F)					全体
	青森(A)	岩手(B)	宮城(C)	山形(Y)	全体	青森(A)	岩手(B)	宮城(C)	山形(Y)	全体	
<i>n</i>	10	10	10	10	40	10	10	10	10	40	80
max	9.3	235	22	14	235	4.6	3.2	6.8	2.3	6.8	235
90%tile	5.7	34	12	6.4	11	3.2	2.7	4.0	1.5	3.2	6.9
75%tile	4.1	7.5	6.6	4.2	5.8	2.0	1.7	3.2	1.2	2.1	3.9
median	2.4	3.1	5.0	3.1	3.7	1.4	1.3	1.8	0.83	1.2	2.2
average	3.3	28	6.9	4.1	10	1.8	1.5	2.3	1.0	1.7	6.1
25%tile	1.6	2.3	3.7	2.2	2.2	1.0	0.82	0.93	0.68	0.83	1.0
10%tile	1.4	1.6	3.1	1.8	1.6	0.96	0.70	0.48	0.58	0.67	0.76
min	1.2	0.92	2.9	0.93	0.92	0.83	0.69	0.43	0.48	0.43	0.43

表 7 総 PCBs 濃度に対する各同族体濃度の割合 (%) (アイナメ)

	MoCBs	DiCBs	TrCBs	TeCBs	PeCBs	HxCBs	HpCBs	OcCBs	NoCBs	DeCB
AFG1	0.034	0.59	2.0	9.4	25	44	15	3.1	0.31	0.11
AFG2	0.039	1.0	2.7	10	23	41	19	3.1	0	0.077
AFG3	0.016	0.18	2.8	15	32	36	11	2.1	0.33	0.17
AFG4	0.014	0.016	1.8	9.0	27	43	16	3.1	0.49	0.27
AFG5	0.027	0	1.5	7.3	23	43	20	4.1	0.59	0.28
AFG6	0.0099	0.013	1.5	8.3	26	43	17	2.8	0.60	0.35
AFG7	0.019	0.022	1.0	6.4	23	44	22	3.8	0.26	0.16
AFG8	0.034	0.25	2.1	9.6	29	41	15	2.4	0.23	0.094
AFG9	0.029	0.017	1.3	7.8	25	43	19	2.9	0.22	0.14
AFG10	0.011	0.11	0.67	5.2	23	45	21	4.3	0.66	0.38
BFG1	0.051	0.18	1.6	6.9	36	41	12	1.8	0.14	0.075
BFG2	0.00073	0.0078	0.15	6.2	45	43	5.5	0.40	0.026	0.0081
BFG3	0.0081	0.39	7.6	22	28	29	10	1.7	0.14	0.025
BFG4	0.019	0	1.3	7.2	32	44	13	2.3	0.27	0.099
BFG5	0.014	0.61	9.9	20	23	30	14	2.7	0.22	0.033
BFG6	0.0084	0	0.87	6.3	35	44	11	1.6	0.19	0.086
BFG7	0.014	0	2.4	7.7	21	42	22	4.5	0.37	0.17
BFG8	0.0072	0.16	4.7	15	23	35	18	3.7	0.32	0.052
BFG9	0.020	0.037	4.1	10	19	40	22	4.4	0.30	0.083
BFG10	0.018	0	1.0	6.2	22	43	22	4.2	0.47	0.20
CFG1	0.025	0.15	1.3	8.4	23	45	18	3.6	0.36	0.16
CFG2	0.017	0.23	2.2	9.9	24	41	17	4.6	0.74	0.55
CFG3	0.036	1.0	11	24	28	28	6.6	1.1	0.14	0.14
CFG4	0.0071	0.27	3.5	15	28	38	13	2.7	0.26	0.15
CFG5	0.0054	0.19	2.4	12	27	40	15	3.3	0.27	0.14
CFG6	0.022	0.86	7.6	19	28	33	9.2	1.9	0.25	0.18
CFG7	0.010	0.43	7.4	22	29	30	8.4	2.0	0.35	0.29
CFG8	0.011	0.25	4.4	16	28	36	12	2.6	0.31	0.21
CFG9	0.020	0.36	6.1	20	30	32	9.3	1.6	0.23	0.22
CFG10	0.020	0.41	6.9	22	30	31	8.6	1.5	0.21	0.22
YFG1	0.14	2.4	3.3	12	23	40	16	3.4	0	0.11
YFG2	0.025	0.15	2.0	10	32	43	11	1.9	0.37	0.26
YFG3	0.030	0.23	2.2	8.8	31	44	11	1.9	0.32	0.17
YFG4	0.019	0.11	1.5	11	32	40	13	2.1	0.30	0.22
YFG5	0.065	0.35	3.6	15	34	34	11	1.4	0.16	0.16
YFG6	0.0088	1.5	34	37	13	11	3.2	0.43	0.063	0.036
YFG7	0.014	0.031	1.1	6.2	25	46	17	3.7	0.81	0.58
YFG8	0.022	0.38	3.4	9.7	23	40	19	4.2	0.43	0.17
YFG9	0.012	0	0.89	6.8	26	46	17	3.1	0.66	0.41
YFG10	0.025	0	0.95	5.5	20	45	22	4.7	0.77	0.52

MoCBs : 1 塩素体化 PCBs、DiCBs : 2 塩素体化 PCBs、TrCBs : 3 塩素体化 PCBs、TeCBs : 4 塩素体化 PCBs、PeCBs : 5 塩素体化 PCBs、HxCBs : 6 塩素体化 PCBs、HpCBs : 7 塩素体化 PCBs、OcCBs : 8 塩素体化 PCBs、NoCBs : 9 塩素体化 PCBs、DeCB : 10 塩素体化 PCBs

表 8 総 PCBs 濃度に対する各同族体濃度の割合 (%) (カレイ・ヒラメ)

	MoCBs	DiCBs	TrCBs	TeCBs	PeCBs	HxCBs	HpCBs	OcCBs	NoCBs	DeCB
AF1	0.045	0.60	3.5	13	30	37	13	2.1	0	0.23
AF2	0.024	0.22	1.9	9.3	28	40	17	2.8	0.17	0.11
AF3	0.029	0	1.4	9.4	24	45	17	3.5	0.32	0.43
AF4	0.082	0.50	1.8	11	29	42	13	2.3	0	0.13
AF5	0.067	0.39	3.7	12	27	38	16	2.8	0	0.15
AF6	0.051	0	1.3	10	29	43	12	4.7	0.19	0.43
AF7	0.098	1.5	2.7	11	30	38	14	2.1	0.17	0.15
AF8	0.024	0.61	2.1	8.5	18	37	28	5.7	0.32	0.05
AF9	0.035	0.17	2.7	12	29	38	15	2.4	0.26	0.17
AF10	0.060	1.3	8.3	21	31	28	8.8	1.1	0	0.047
BF1	0.038	0.026	3.4	13	29	37	13	2.4	0.46	0.38
BF2	0.035	0.052	2.1	11	35	37	11	2.5	0.30	0.13
BF3	0.042	0.040	3.1	8.2	19	40	24	5.5	0.44	0.12
BF4	0.036	0.017	3.5	12	18	37	23	5.7	0.34	0.11
BF5	0	0.090	3.1	11	25	42	16	2.7	0	0
BF6	0	0	1.4	8.7	29	45	13	2.1	0	0.39
BF7	0.026	0.23	5.8	17	25	37	12	2.4	0.12	0.041
BF8	0.0074	0	2.5	10	31	38	14	3.8	0.44	0.11
BF9	0.021	0	1.9	8.7	31	40	15	2.9	0	0.16
BF10	0.046	0.52	4.5	16	30	35	12	2.0	0	0
CF1	0.060	0.47	2.6	11	29	40	12	3.1	0.54	0.59
CF2	0.028	0.41	3.1	13	31	36	13	2.2	0.46	0.83
CF3	0.045	0.38	3.5	15	29	36	13	2.5	0.28	0.25
CF4	0.050	0.067	2.5	14	26	39	14	2.6	0.65	1.4
CF5	0.086	0.80	3.4	14	25	36	16	3.6	0.31	0.50
CF6	0.017	0.27	2.8	13	30	37	13	2.2	0.38	0.29
CF7	0	0.099	3.0	16	28	39	11	2.2	0	0.76
CF8	0.057	0.53	2.9	13	31	38	12	1.9	0.22	0.20
CF9	0	0.025	2.1	12	24	37	19	5.5	0.57	0.57
CF10	0.039	11	2.4	12	25	32	14	3.3	0.45	0.34
YF1	0.11	1.4	2.0	11	34	40	12	0.74	0	0
YF2	0.019	0.26	1.8	10	29	40	15	2.5	0.48	0.42
YF3	0.052	0.47	2.8	13	31	38	12	2.5	0.34	0.49
YF4	0.10	0	3.3	14	26	39	14	3.1	0.41	0.75
YF5	0.013	0	0.93	9.0	35	42	12	1.6	0.19	0.20
YF6	0	0	1.6	10	27	40	16	3.4	0.84	0.85
YF7	0.073	0.37	3.7	16	32	34	11	2.2	0.31	0.52
YF8	0.090	0	0.89	7.7	30	43	15	2.2	0	0.35
YF9	0.022	0	0.63	6.4	34	45	12	1.8	0	0.25
YF10	0	0	1.3	7.9	29	43	16	2.5	0	0.39

MoCBs : 1 塩素体化 PCBs、DiCBs : 2 塩素体化 PCBs、TrCBs : 3 塩素体化 PCBs、TeCBs : 4 塩素体化 PCBs、PeCBs : 5 塩素体化 PCBs、HxCBs : 6 塩素体化 PCBs、HpCBs : 7 塩素体化 PCBs、OcCBs : 8 塩素体化 PCBs、NoCBs : 9 塩素体化 PCBs、DeCB : 10 塩素体化 PCBs

表9 各主要異性体濃度 (ng/g) (アイナメ)

	#28	#52	#101	#138	#153	#180	#118
AFG1	0.036	0.046	0.15	0.42	0.58	0.18	0.28
AFG2	0.015	0.014	0.040	0.12	0.17	0.060	0.064
AFG3	0.051	0.057	0.18	0.36	0.48	0.13	0.36
AFG4	0.020	0.023	0.076	0.24	0.33	0.099	0.15
AFG5	0.014	0.014	0.054	0.18	0.28	0.097	0.11
AFG6	0.018	0.030	0.098	0.27	0.38	0.12	0.16
AFG7	0.0094	0.010	0.045	0.15	0.21	0.082	0.087
AFG8	0.068	0.11	0.43	0.98	1.1	0.39	0.64
AFG9	0.011	0.016	0.058	0.17	0.21	0.084	0.10
AFG10	0.022	0.028	0.16	0.63	0.81	0.30	0.33
BFG1	0.017	0.024	0.12	0.24	0.26	0.078	0.21
BFG2	0.14	1.7	8.9	34	25	4.3	39
BFG3	0.35	0.33	0.57	0.63	1.1	0.35	0.65
BFG4	0.020	0.028	0.13	0.36	0.47	0.13	0.31
BFG5	0.27	0.18	0.30	0.44	0.80	0.30	0.34
BFG6	0.015	0.031	0.14	0.35	0.46	0.099	0.36
BFG7	0.011	0.0093	0.024	0.095	0.15	0.063	0.057
BFG8	0.16	0.13	0.28	0.59	0.94	0.40	0.38
BFG9	0.032	0.021	0.042	0.16	0.26	0.12	0.088
BFG10	0.015	0.023	0.088	0.29	0.43	0.17	0.17
CFG1	0.049	0.069	0.24	0.68	1.1	0.32	0.37
CFG2	0.048	0.042	0.18	0.41	0.65	0.20	0.27
CFG3	0.16	0.12	0.18	0.26	0.37	0.080	0.25
CFG4	0.16	0.22	0.45	0.83	1.6	0.38	0.68
CFG5	0.23	0.23	0.66	2.2	3.3	1.0	1.4
CFG6	0.19	0.14	0.26	0.55	0.73	0.18	0.43
CFG7	0.097	0.065	0.12	0.22	0.29	0.077	0.20
CFG8	0.095	0.12	0.22	0.43	0.71	0.19	0.32
CFG9	0.099	0.076	0.15	0.28	0.38	0.093	0.23
CFG10	0.098	0.075	0.13	0.25	0.32	0.078	0.21
YFG1	0.014	0.019	0.039	0.086	0.13	0.039	0.045
YFG2	0.042	0.055	0.24	0.44	0.53	0.13	0.35
YFG3	0.041	0.041	0.16	0.50	0.60	0.14	0.38
YFG4	0.052	0.077	0.27	0.53	0.80	0.20	0.48
YFG5	0.026	0.043	0.081	0.14	0.19	0.052	0.15
YFG6	1.4	0.53	0.28	0.36	0.48	0.12	0.35
YFG7	0.021	0.026	0.13	0.45	0.59	0.18	0.28
YFG8	0.027	0.022	0.068	0.20	0.28	0.10	0.12
YFG9	0.014	0.016	0.071	0.28	0.40	0.12	0.19
YFG10	0.012	0.015	0.057	0.24	0.38	0.17	0.12

表 10 各主要異性体濃度 (ng/g) (カレイ・ヒラメ)

	#28	#52	#101	#138	#153	#180	#118
AF1	0.012	0.026	0.063	0.086	0.11	0.034	0.059
AF2	0.010	0.019	0.080	0.13	0.19	0.070	0.097
AF3	0.0096	0.011	0.045	0.11	0.17	0.040	0.051
AF4	0.0082	0.017	0.046	0.080	0.096	0.026	0.052
AF5	0.013	0.023	0.057	0.073	0.12	0.050	0.051
AF6	0.0064	0.022	0.066	0.12	0.15	0.031	0.071
AF7	0.016	0.030	0.090	0.14	0.17	0.056	0.096
AF8	0.038	0.044	0.13	0.34	0.64	0.43	0.19
AF9	0.019	0.042	0.12	0.18	0.22	0.077	0.11
AF10	0.10	0.072	0.13	0.21	0.25	0.057	0.25
BF1	0.017	0.041	0.10	0.13	0.19	0.056	0.087
BF2	0.013	0.029	0.11	0.16	0.18	0.063	0.12
BF3	0.012	0.0097	0.033	0.073	0.16	0.066	0.043
BF4	0.027	0.021	0.051	0.10	0.28	0.11	0.069
BF5	0.0068	0.013	0.035	0.060	0.087	0.028	0.036
BF6	0.0041	0.012	0.037	0.070	0.096	0.024	0.047
BF7	0.061	0.088	0.16	0.19	0.43	0.10	0.14
BF8	0.022	0.043	0.16	0.23	0.32	0.12	0.18
BF9	0.0062	0.014	0.047	0.065	0.098	0.030	0.057
BF10	0.014	0.028	0.054	0.070	0.097	0.030	0.046
CF1	0.019	0.020	0.080	0.15	0.22	0.049	0.11
CF2	0.069	0.14	0.35	0.43	0.67	0.20	0.37
CF3	0.031	0.052	0.13	0.18	0.31	0.072	0.15
CF4	0.0070	0.0065	0.015	0.053	0.070	0.022	0.037
CF5	0.015	0.014	0.035	0.072	0.12	0.045	0.0542
CF6	0.036	0.087	0.24	0.27	0.42	0.11	0.21
CF7	0.0068	0.0095	0.020	0.042	0.066	0.013	0.032
CF8	0.020	0.046	0.13	0.15	0.25	0.064	0.13
CF9	0.0096	0.015	0.044	0.073	0.11	0.044	0.043
CF10	0.029	0.060	0.16	0.21	0.36	0.11	0.15
YF1	0.0045	0.011	0.032	0.042	0.051	0.013	0.031
YF2	0.021	0.035	0.12	0.20	0.31	0.095	0.16
YF3	0.011	0.016	0.054	0.10	0.12	0.036	0.071
YF4	0.0084	0.013	0.028	0.053	0.079	0.021	0.035
YF5	0.0055	0.020	0.086	0.13	0.15	0.039	0.10
YF6	0.0096	0.015	0.056	0.13	0.16	0.055	0.078
YF7	0.012	0.018	0.045	0.070	0.084	0.026	0.055
YF8	0.0039	0.0082	0.036	0.069	0.079	0.026	0.044
YF9	0.0029	0.0079	0.049	0.091	0.094	0.023	0.065
YF10	0.0034	0.010	0.039	0.071	0.080	0.027	0.040

表 11 各主成分の固有値（同族体割合での主成分分析）

主成分No.	固有値	寄与率	累積
1	3.9	39.0%	39.0%
2	2.1	21.1%	60.0%
3	1.3	12.8%	72.8%
4	1.1	11.3%	84.2%
5	0.70	7.0%	91.2%
6	0.37	3.7%	94.9%
7	0.27	2.7%	97.6%
8	0.15	1.5%	99.1%
9	0.090	0.9%	100.0%
10	2.6.E-07	0.0%	100.0%

表 12 各主成分の固有値（異性体割合での主成分分析）

主成分No.	固有値	寄与率	累積
1	6.9	36.5%	36.5%
2	2.8	14.9%	51.4%
3	2.0	10.7%	62.1%
4	1.7	8.8%	70.9%
5	1.0	5.3%	76.2%
6	0.79	4.2%	80.3%
7	0.73	3.9%	84.2%
8	0.69	3.6%	87.8%
9	0.42	2.2%	90.0%
10	0.36	1.9%	92.0%
11	0.32	1.7%	93.6%
12	0.28	1.5%	95.1%
13	0.26	1.4%	96.5%
14	0.20	1.0%	97.5%
15	0.14	0.8%	98.3%
16	0.11	0.6%	98.9%
17	0.098	0.5%	99.4%
18	0.077	0.4%	99.8%
19	0.034	0.2%	100.0%

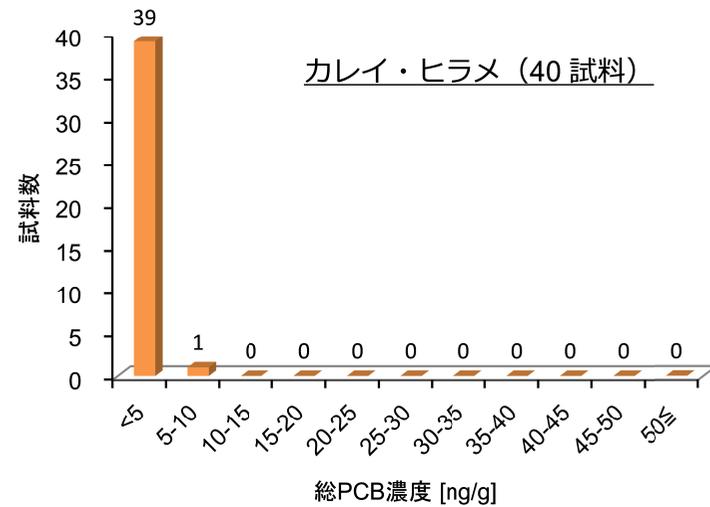
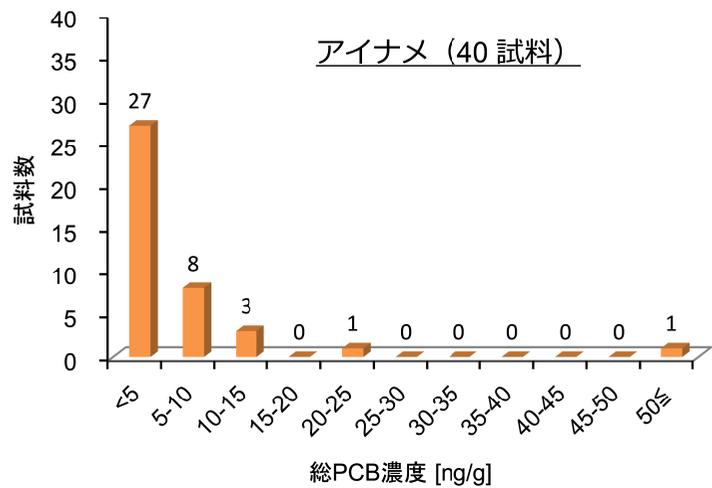
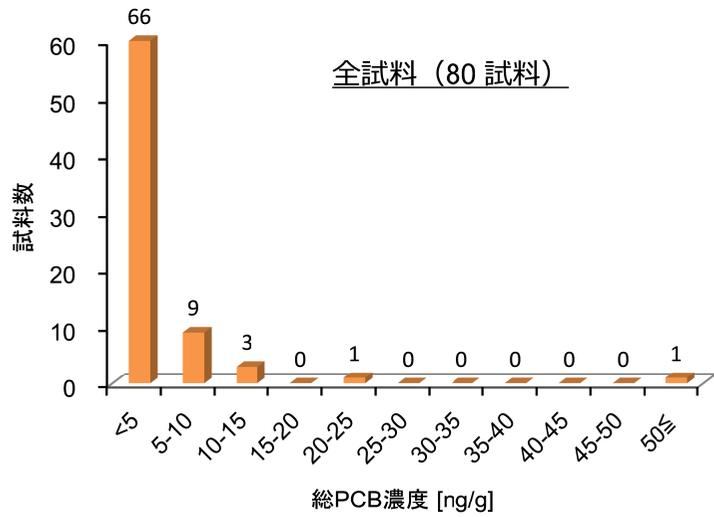


図1 全試料および各食品群試料の総 PCBs 濃度 (ng/g) のヒストグラム

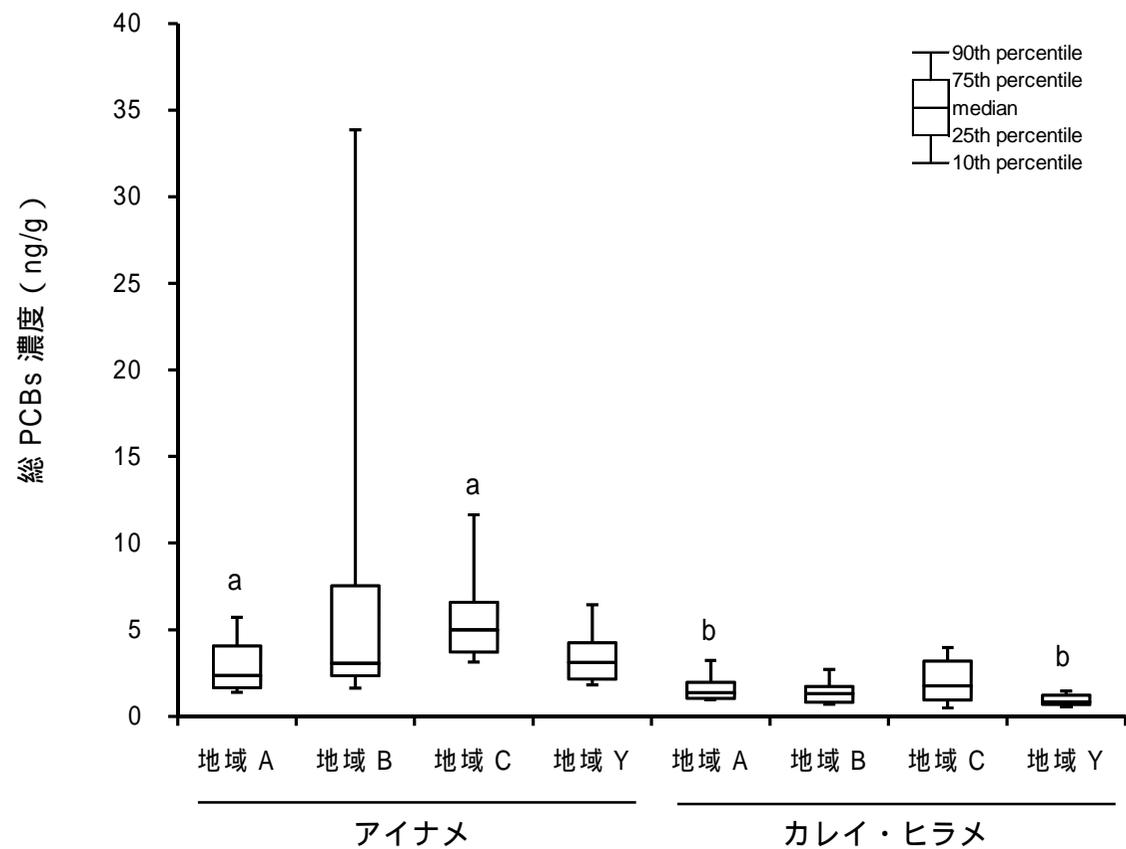


図2 総 PCBs 濃度の地域間比較 (2014 年度の分析結果のみ)
 (同一のアルファベットで示した地域間で有意差 ($p < 0.05$) が認められた)

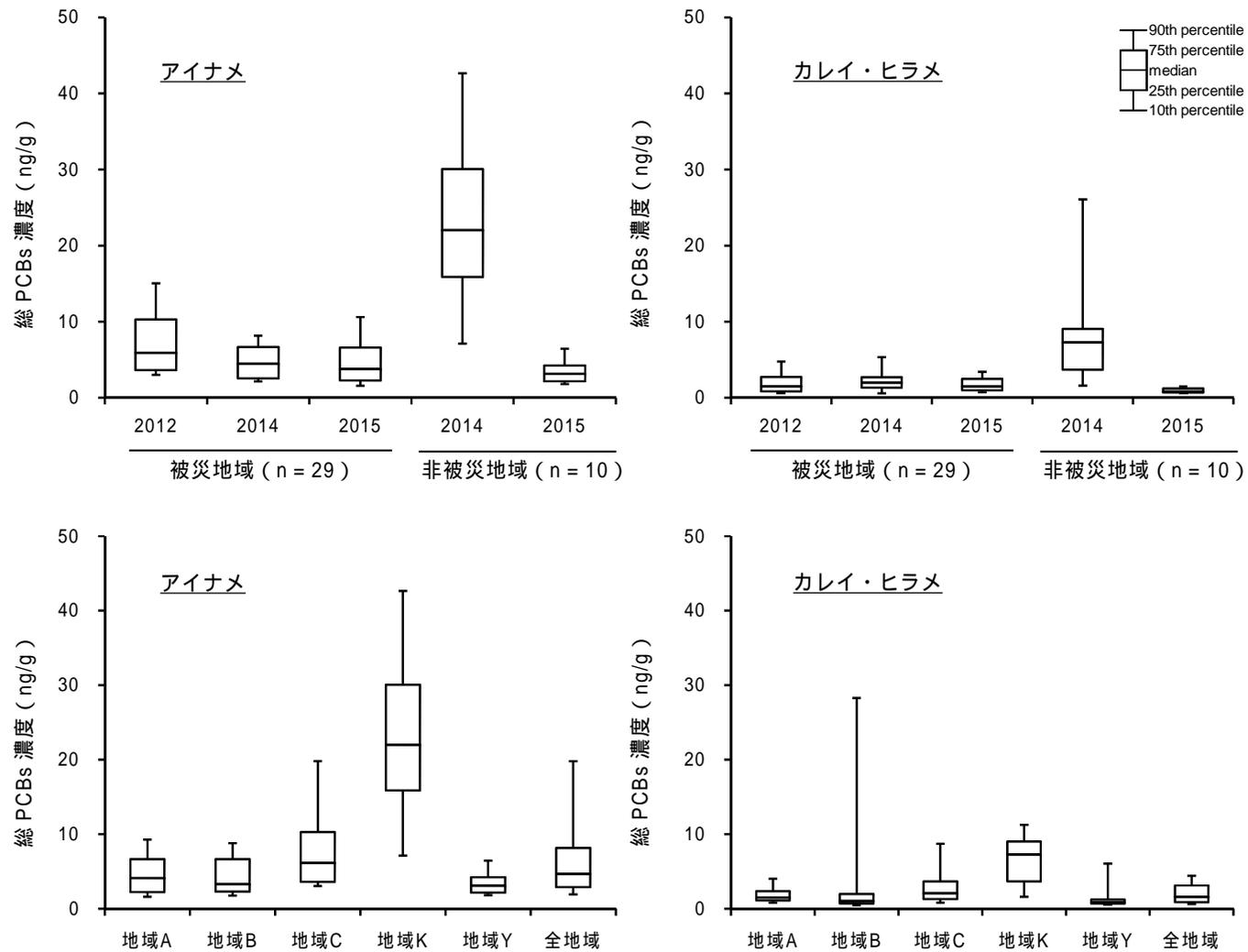


図3 津波被災地域および津波非被災地域における総 PCBs 濃度のまとめ (3年分)

(上段：年度別，下段：地域別)

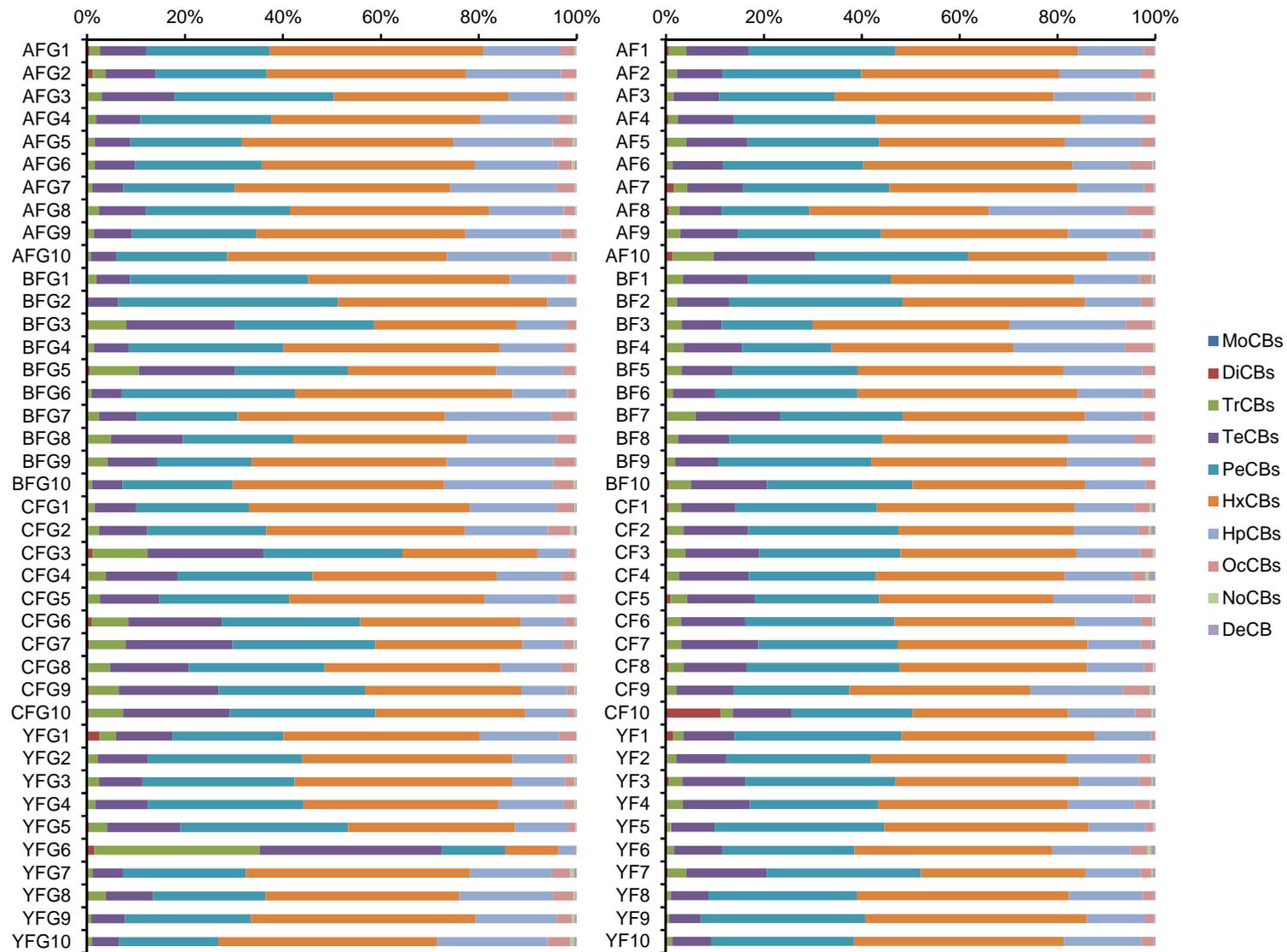


図4 アイナメ(左)およびカレイ・ヒラメ(右)の各同位体濃度割合(%)

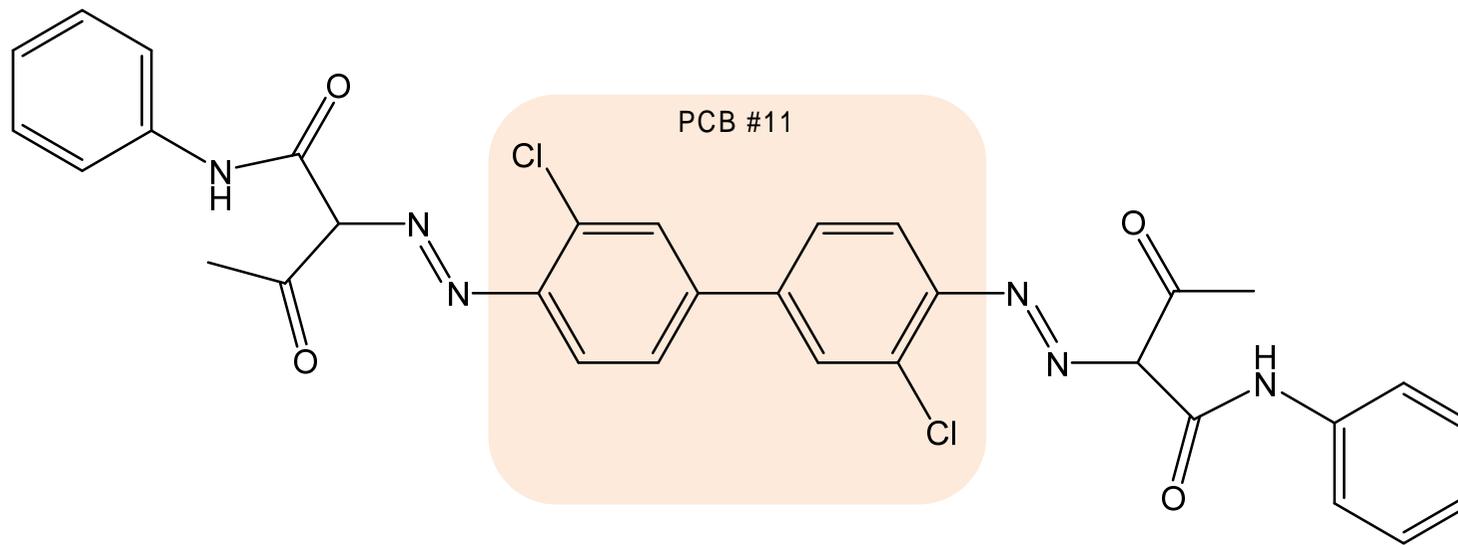


図5 アゾ顔料の代表的な構造 (Pigment Yellow 12)

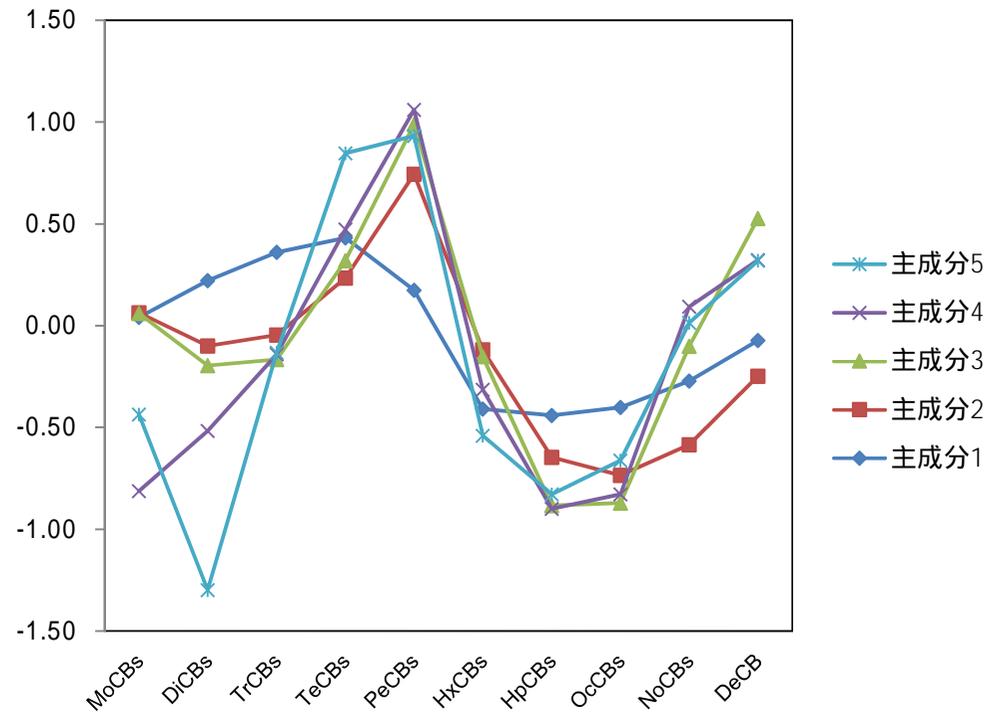


図 6 同族体割合を用いた主成分分析によって得られた固有ベクトル（成分 1 から成分 5 まで）

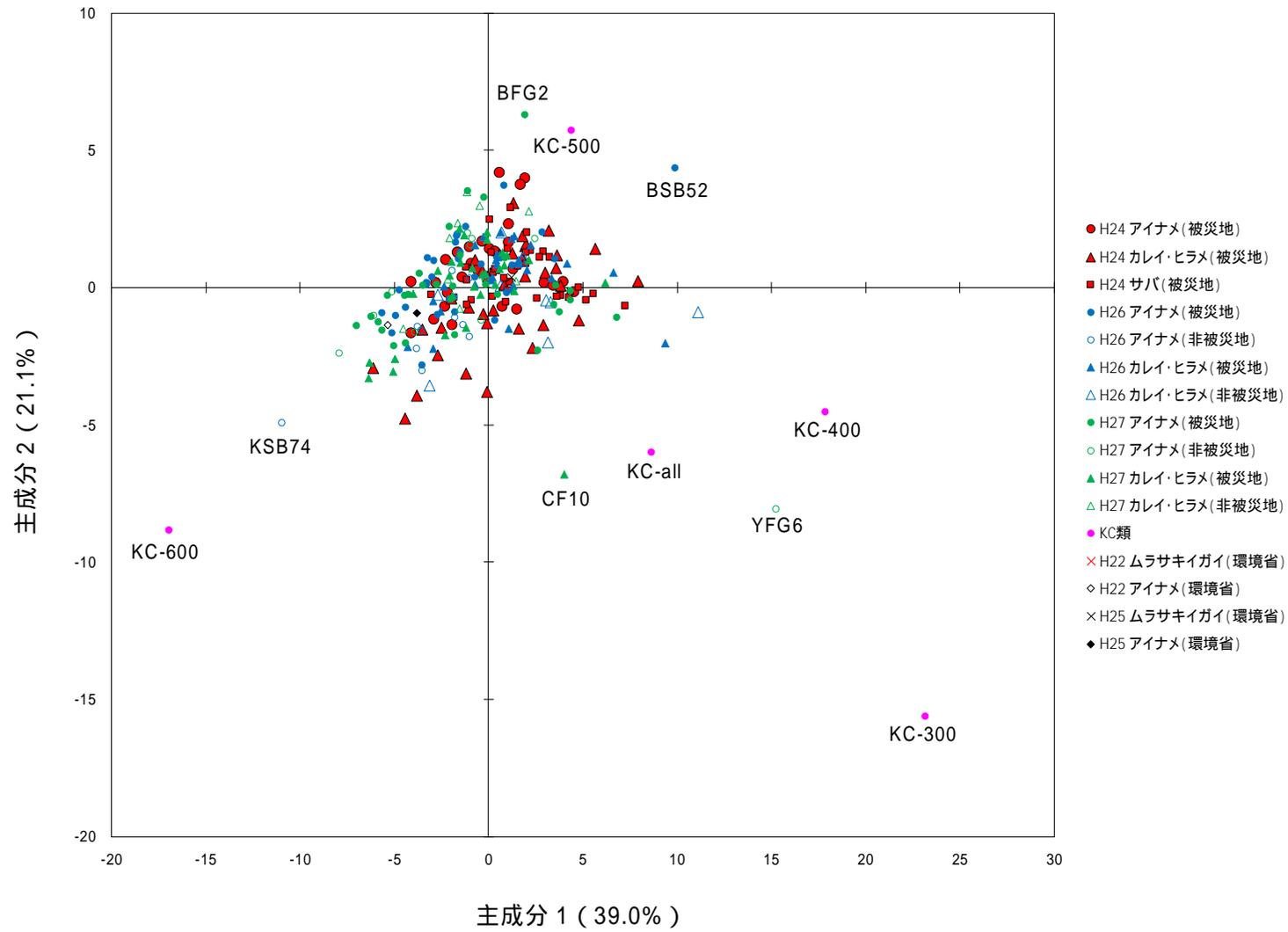


図 7 同族体割合を用いた主成分分析によって主成分得点(成分1および成分2)

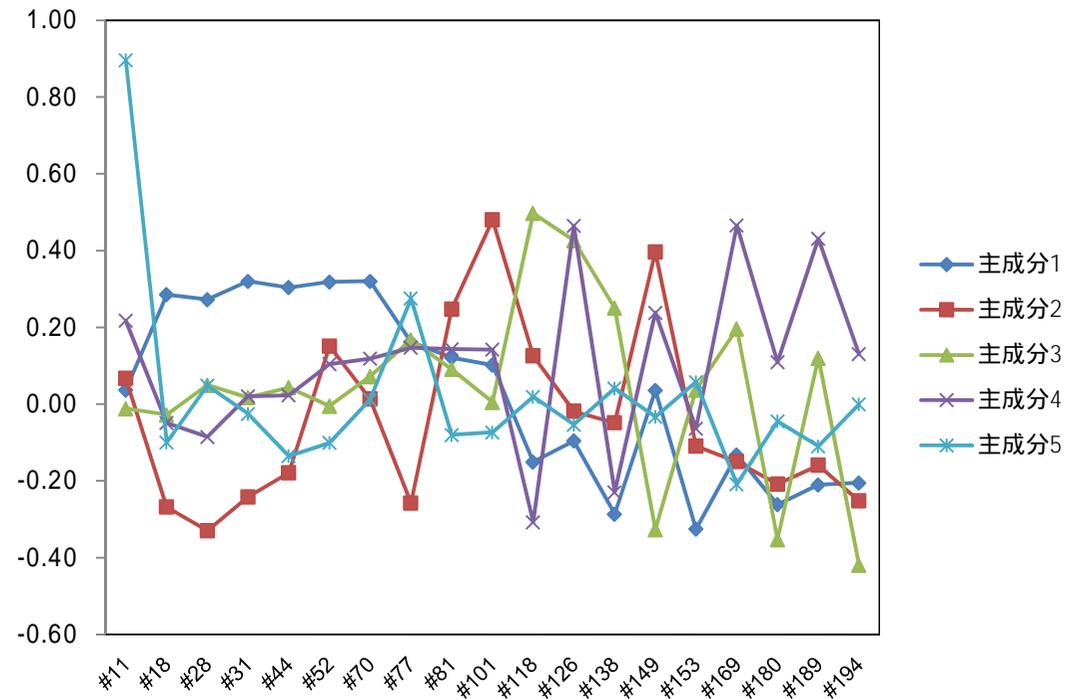


図 8 異性体割合を用いた主成分分析によって得られた固有ベクトル（成分 1 から成分 5 まで）

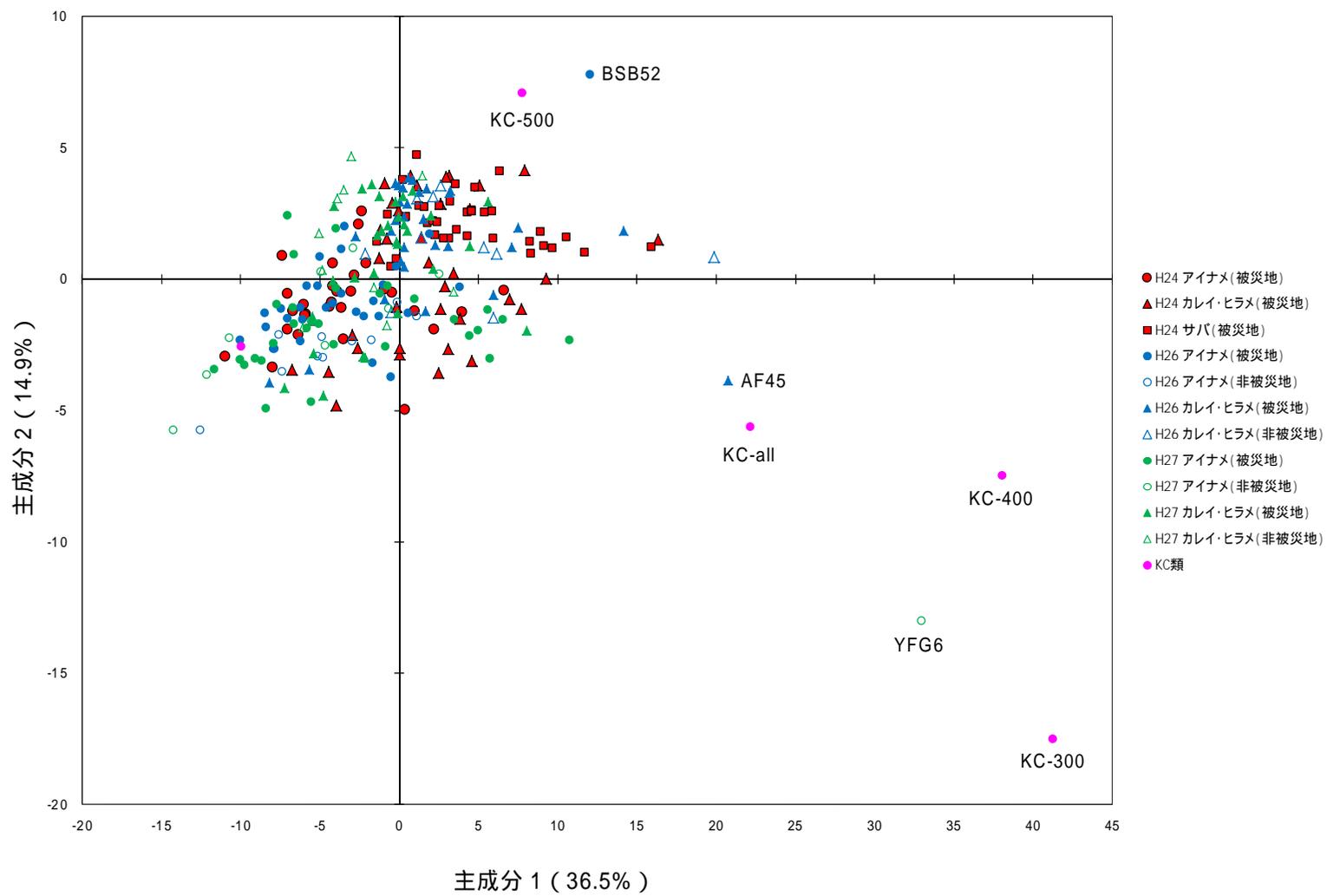


図 9 異性体割合を用いた主成分分析によって主成分得点(成分1および成分2)

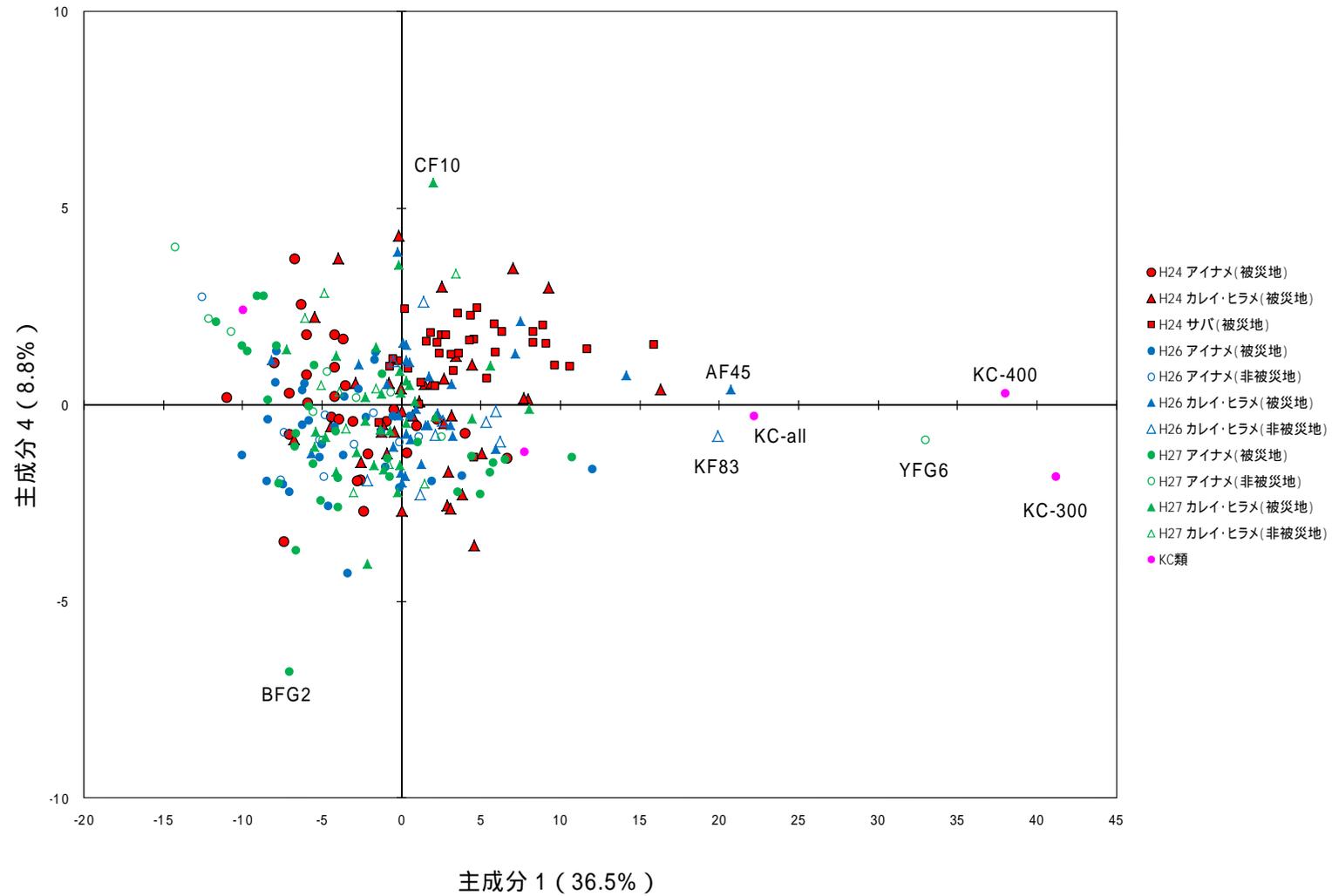


図 10 異性体割合を用いた主成分分析によって主成分得点(成分1および成分4)

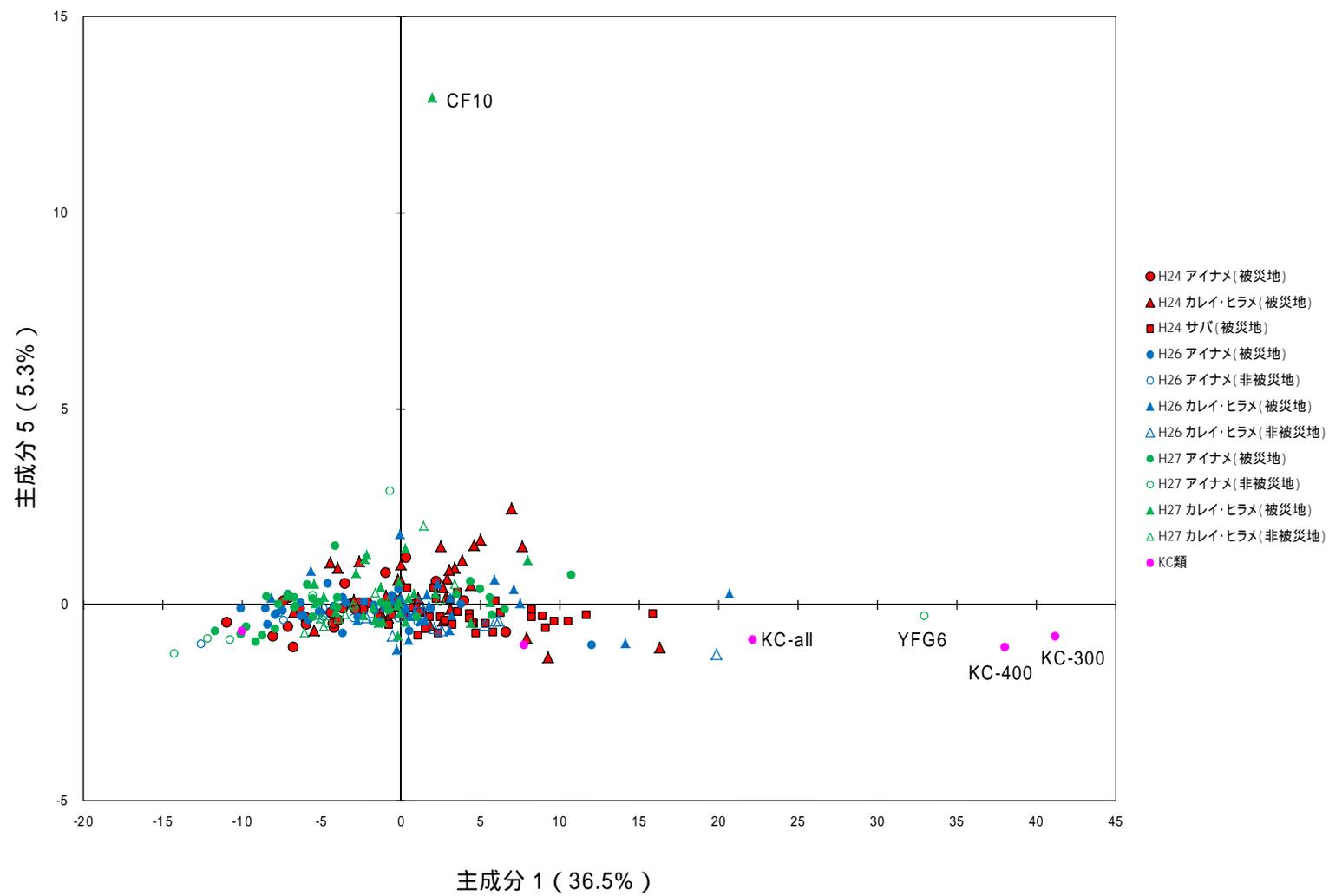


図 11 異性体割合を用いた主成分分析によって主成分得点 (成分 1 および成分 5)

