

PCBの鶏卵および鶏体脂肪への移行, 消失について

合田之久* · 斉藤季彦* · 名倉清一* · 永田信一*
小林秋雄* · 宮下光男*

A Feeding Test of Polychlorinated Biphenyl (PCB): Its Accumulation and Disappearance in Hen's Egg and Fat, and Its Effect on Egg Production.

Yukihisa GODA, Suehiko SAITO, Seiichi NAGURA,
Shinichi NAGATA, Akio KOBAYASHI and Mitsuo MIYASHITA

(要 旨)

PCB の鶏卵および鶏体脂肪への移行, 消失について検討するとともに産卵に及ぼす影響について試験を行なった。

試験 1 として産卵鶏 75 羽を用いて 0, 10, 20, 40ppm 区の 4 区を設定し投与期間 6 週間投与中止後 20 週間の飼養試験を行ない, なお, 長期投与の影響をみるために投与期間 20 週の 20ppm 区を設けた。

試験 2 として産卵鶏 96 羽を用い鶏体脂肪中への PCB の移行, 残留をみるため, 0, 20ppm 区の 2 区で投与期間 6 週間, 投与中止後 20 週の飼養試験を行なった。

1) PCB 組成の変化: 鶏卵, 鶏体脂肪中の KC-500 中に含まれる異性体の構造割合は, 比較的保持時間の短いピークつまり塩素数の少ない PCB の割合が少なくなり, 比較的保持時間の長いピークつまり塩素数の多い PCB の割合が多くなった。また, 鶏卵, 鶏体脂肪の各ピーク比はほぼ同じ傾向を示し, 時間の経過とともに鶏の体内における PCB は, なんらかの体内変化を受けるように思われる。

2) PCB 投与中の鶏卵, 鶏体脂肪への移行, 残留について: 鶏卵中の移行では, 10, 20, 40ppm 6 週間, 鶏卵の長期投与として 20ppm 20 週間についてみると, (10) 式で説明ができ, 鶏体脂肪については, 移行, 残留の濃度変化は成長曲線の一部とみなすことができるので (9) 式で表わすことができる。y は鶏卵, 鶏体脂肪中の PCB 濃度 (ppm), x は飼料中の PCB 含量 (ppm), t (t ≥ 1) は投与期間 (週)

鶏卵は

$$y = x (0.231 + 0.291 \ln t) \dots\dots\dots (10)$$

鶏体脂肪は

$$y = 8.822 + 45.607 \ln t \dots\dots\dots (5)$$

3) PCB 投与中止後の消失について: PCB 投与中止後の鶏卵からの消失過程は 2 期に分けられ, 投与中止後 1 週末 (前期) の急速な減少によりほぼ残留濃度の約 1/3 が排泄され, その後 (後期) の緩慢な減少により残りの 2/3 が排泄される。

また, 鶏体脂肪からの消失過程は, 後期の消失過程でよく説明できる。鶏卵, 鶏体脂肪の消失経過は指数曲線の減少なので 10, 20, 40 ppm および鶏体脂肪の帰式は (6), (7), (8), (9) 式のとおりである。なお, y は鶏卵および鶏体脂肪中の PCB 濃度 (ppm), t (t ≥ 1/7) は投与中止後の週を示す。

10ppm 区は

$$y = 3.266 e^{-2.418 \cdot t} + 5.398 e^{-0.0755 \cdot t} \dots\dots\dots (6)$$

20ppm 区は

$$y = 5.043 e^{-1.671 \cdot t} + 10.319 e^{-0.0628 \cdot t} \dots\dots\dots (7)$$

40ppm 区は

$$y = 14.112 e^{-2.525 \cdot t} + 23.127 e^{-0.0785 \cdot t} \dots\dots\dots (8)$$

鶏体脂肪は

$$y = 88.677 e^{-0.0424 \cdot t} \dots\dots\dots (9)$$

4) PCB の産卵に及ぼす影響: 生存率, 産卵率, 卵重, 1日1羽当り産卵量, 飼料摂取量, 飼料要求率, 体重についても各区分とも有意差はなかった。

ま え が き

自然界におけるポリ塩化ビフェニール(以下PCBと略称する)は、最初魚類およびそれらを常食するワシなどからスウェーデンのJensen¹⁾により確認された。それ以来環境汚染物質としてPCBが注目され、自然環境中にも広範囲に存在することが報告されている。

また、PCBの鳥類に及ぼす毒性についてもかなり明らかになっている。鳥類に対する毒性は一般に塩素含量の多いものほど毒性の強いことが認められており、その毒性も鳥類の種類によって違いがある。²⁾ また、P、P'-ジクロロジフェニルトリクロロエタン(以下DDTと略す)が鳥類の卵殻を薄くし、次世代に影響を及ぼすことがよく知られている。PCBはDDTと似た挙動をとることから同様の作用があるのではないかといわれてきた³⁾。磯野ら⁴⁾は、高濃度に蓄積した塩素系物質がホルモン系の代謝を攪乱することによって繁殖期が狂い繁殖率が低下している可能性があり、カルシウム貯蔵量にも関連して卵殻の厚さが薄くなると推測している。FEOKALLら⁵⁾は、鳥類では、肝臓に異状のないかわり腎臓、脾臓に異状が認められ、その他心の腫や腹水などの所見があり、生物の種類によりPCBの毒性の表れ方が相違していることがわかると報告している。このように鳥類に関するPCBの研究では、蓄積や毒性についての研究が多く、代謝や産卵およびふ化への影響については2~3の報告^{6)~8)}があるにすぎない。

そこで著者ら⁹⁾は、さきにPCBの鶏卵への移行および産卵、ふ化におよぼす影響を知るため、飼料中に10ppmおよび20ppmのPCBを添加し、6週間与えた場合の鶏卵への移行、投与中止後6週末までの鶏卵からの消失とその間の産卵成績などについて試験を行なった。その結果、PCBの鶏卵への移行は指数曲線的に上昇し、PCB投与中止後の鶏卵からの消失過程は2期に分けられ、この後期の貯蔵器官として、体脂肪組織が考えられた。PCB濃度が20ppm程度ならば生存率、産卵率、卵重、飼料要求率、体重などについては各区の間に有意な差はなかったが、受精卵に対するふ化率は高濃度に添加したものほど悪くなった。

そこで、著者らは前回に引き続き10ppmおよび20ppmのPCBを投与し、その結果を再確認するとともに前回より高濃度の40ppmのPCB投与による産卵への影響を前回より長期にわたって追求した。また、20ppmのPCBを長期間投与し、鶏卵中への移行について、前回の予測値を確めるために実施するとともに、鶏体脂肪がPCBの体内貯蔵器官であろうと推測されるので、新た

に鶏体脂肪中への移行、残留および消失と鶏体脂肪中のPCBの組成の変化についても若干の検討を試みたので、その結果を報告する。

試験材料および方法

供試PCB、供試飼料、PCB添加方法は前報⁹⁾と同じである。PCBの分析方法は、日本電子株式会社製JGC-1100型(⁶³Ni)ガスクロマト装置を用い、アルカリ分解法¹⁰⁾により実施した。

PCB添加後の飼料中のPCB分析値は、10ppm添加飼料で9.06ppm、20ppm添加飼料で、18.9ppm、40ppm添加飼料は36.5ppmであった。なお20週間長期投与区の20ppm添加飼料は18.2ppmであった。PCB無添加飼料のPCB含量は0.016~0.018ppmであった。試験2の鶏体脂肪への移行試験に使った20ppm添加飼料は17.8ppmであり、無添加飼料のPCB含有量は0.016~0.018ppmであった。

供試鶏および試験区分：試験1は鶏卵への移行、消失と長期投与の影響を知るため昭和49年3月15日餌付の産卵鶏(白レグ×ロードおよび白レグ)を餌付時から當場慣行の方法で飼養し、190日齢時に産卵成績により、産卵率をそろえて、1区15羽を割当て、これを7羽と8羽に2分し、5区75羽で試験を実施した。飼料の給与は区ごとに行ない10日間の予備飼育をして、200日齢で試験を開始した。PCBの投与期間6週間、投与中止後20週間の1区について飼養試験を行なった。

試験2は鶏体脂肪への移行、消失を知るために昭和50年3月6日餌付の産卵鶏(白レグ×ロードおよび白レグ)を餌付時から當場慣行の方法で飼養し、551日齢時に産卵成績により、産卵率をそろえて、対照区18羽、試験区78羽の2区に区分し試験を実施した。飼料の給与は区ごとに行ない10日間の予備飼育をして561日齢時に試験を開始し、投与期間6週間、投与中止後20週間の飼養試験を行なった。

分析用サンプル採取：試験1の鶏卵のPCB分析用サンプル採取は10ppm区、20ppm区および40ppm区については投与前日、PCB投与期間の1、2、4、6週の各週末、投与中止後の1、2、3、5日目および投与中止後の1、2、3、4、6、7、8、10、14、18、20、週の各週末、無添加区については投与前日、PCB投与期間の1、6週末、投与中止後の5日目、1、6、7、8、14、20週の各週末、20週長期投与区においては投与前日、投与期間の1、2、4、6、8、9、10、11、12、13、14、16、17、20週の各週末に産卵した全ての卵を試料として採取した。採取した卵は各区毎に割卵し充分混合したのち10gを分析用試料として供用した。

試験2で行なった鶏体脂肪の採取は0ppm区では、試験開始前日とPCB給与後の6週末、給与中止後の1, 6, 10, 20週各週末、20ppm区では投与前日、PCB給与後の1~6週目の各週末給与中止後の1~7日の毎日2~6週目の各週末および8~20週目の偶数週の各週末に各区からランダムに3羽ずつ抽出し、その腹部脂肪をすべて採取混合したのち10gを分析用試験として供用した。

試験結果

PCB組成の変化：PCB標準品（以下KC-500と略称する）の典型的なガスクロマトグラフは図1に示したとおりで、化合している塩素の数とそれがついている位置によって、18個のピークから構成されている。KC-500を投与した鶏卵および鶏体脂肪のガスクロマトグラフにおいては、KC-500と共通のピークが14認められた。この各々のピークの保持時間はKC-500のピークの保持時間と等しかった。鶏卵中のPCBクロマトグラフは図1に示したKC-500の標準品のクロマトグラフとほとんど似ているが、ピーク1, 5, 7がみられなかった。鶏体脂肪のPCBクロマトグラフも標準品にほとんど似ているが、さらにピーク2が認められなかった。ピーク14は鶏卵および鶏体脂肪には痕跡程度しかなくピークの高さが低いので測定できなかった。したがってサンプル中のPCB濃度はピーク1, 2, 5, 7, 14以外のピーク高を

比較して濃度を測定した。

20ppm区の鶏卵および鶏体脂肪の試験開始以後の全てのサンプルについて、KC-500の標準品と鶏卵および鶏体脂肪のピーク3, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18について、これら各ピークの合計に対する各ピークの割合を示すと表1のとおりである。KC-500の標準品と、鶏卵および鶏体脂肪の各ピークの割合を比較し、t検定を行なった結果、比較的塩素数の少ないピーク3, 4, 6, 8, 9についてみると、ピーク8を除いてその構成割合は減少しており、その中でもピーク4については鶏卵および鶏体脂肪とも、ピーク6では鶏体脂肪について、明らかに構成割合は少なくその差は有意であった。ピーク8では若干多くなったが、ピーク3, 9ではその構成割合は少し低下した。この傾向は鶏卵および鶏体脂肪とも同じであった。一方塩素数の多い10, 11, 13, 15についてはその構成割合は増加傾向にあり、ピーク10では鶏体脂肪において1%で、ピーク11では鶏卵で5%、またピーク13では鶏卵および鶏体脂肪とも1%で有意に構成割合が多くなったが、ピーク12では鶏卵において1%で有意に少なくなり、この傾向は鶏体脂肪も同じであった。

このように鶏卵、鶏体脂肪中のPCBは、時間の経過とともに分解、代謝および排泄などならぬ体内変化を受けるが、その中でも塩素数の多いPCBほど残留しや

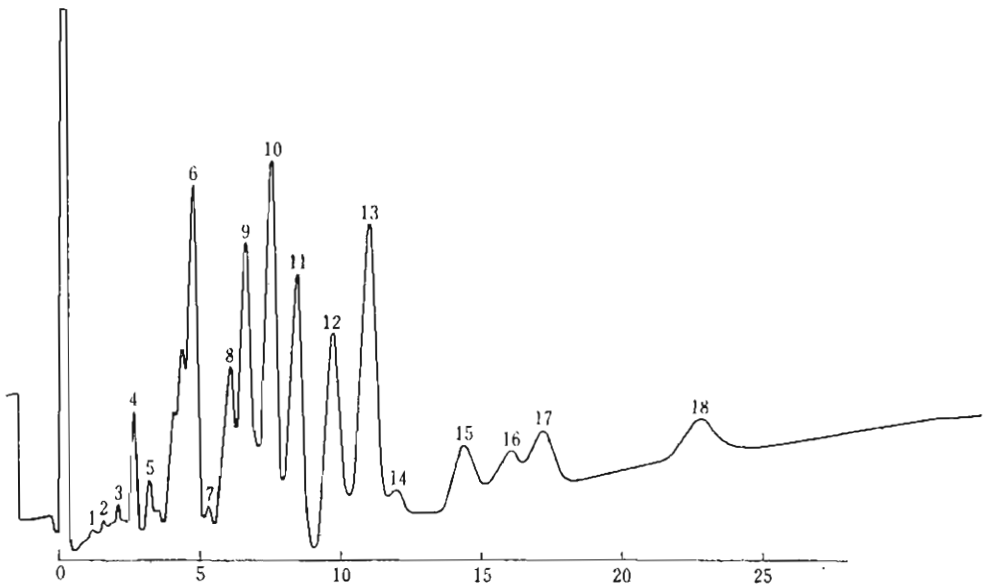


図1 STANDARD (KC-500)

表1 PCB標準品(KC-500),全期間中の鶏卵および鶏体脂肪の各ピークが全体に占める割合

種別	PCBのピーク番号												
	3	4	6	8	9	10	11	12	13	15	16	17	18
KC-500	1.7	5.2	17.2	4.5	9.4	16.1	12.5	10.3	14.2	2.9	1.1	1.8	1.6
鶏体脂肪	1.6	1.3	10.1	5.9	3.8	21.7	17.9	8.7	21.5	3.5	1.8	1.4	1.2
	±0.8	±0.9	±2.5	±3.0	±2.9	±2.8	±2.8	±1.4	±2.3	±0.5	±0.4	±0.3	±0.2
鶏卵	1.4	2.3	12.7	6.0	6.1	17.9	16.1	6.6	22.9	4.1	0.7	2.1	1.8
	±0.4	±1.0	±2.2	±4.3	±3.9	±2.6	±1.6	±1.2	±2.8	±0.7	±0.4	±0.9	±0.3

注 * 5%有意
** 1%有意

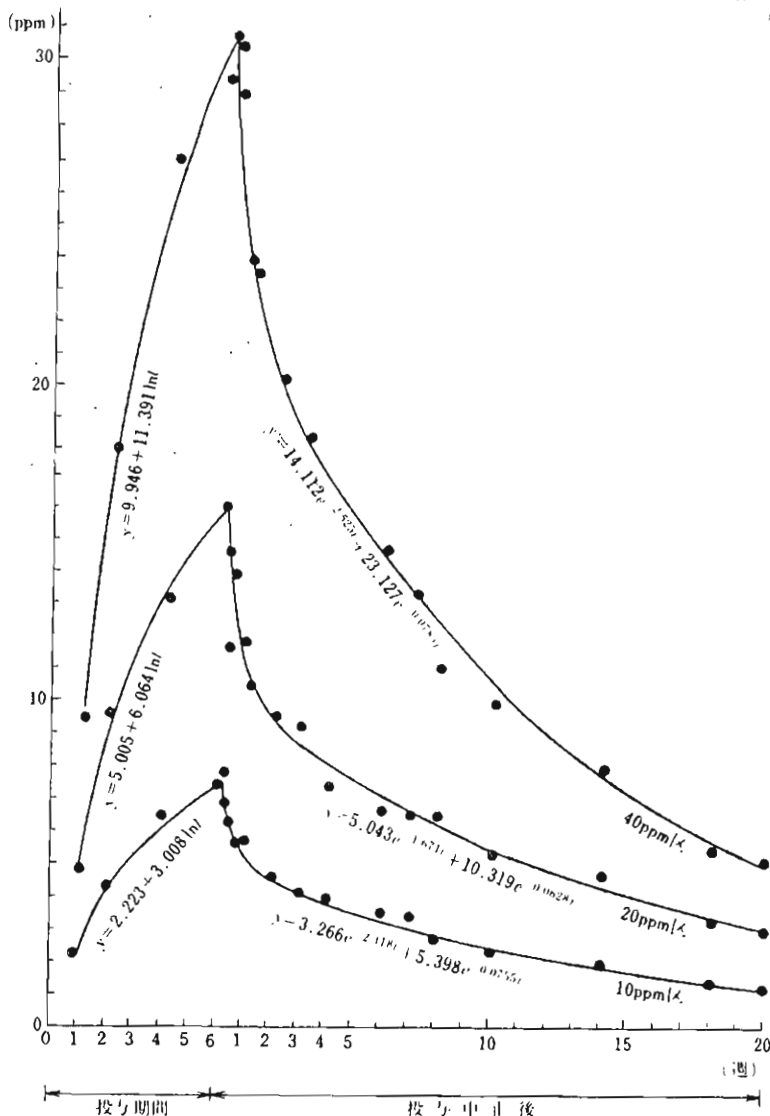


図2 鶏卵中のPCB含量の推移(その1)

すいように思われる。

PCB 投与中の移行、残留：PCB 投与前の鶏卵、鶏体脂肪中のPCB濃度は0.01ppm~0.02ppmの間であった。本試験のデータは図2、3、4に示すようになった。6週間のPCB 投与期間における鶏卵と鶏体脂肪中のPCB濃度はほぼ指数曲線的に上昇した。長期投与区においても10週まで上昇し、その後上昇カーブはゆるやかになった。鶏卵、鶏体脂肪中への移行濃度を y 、投与期間(週)を t ($t \geq 1$) とすると、投与期間中のデータは(1)~(5)式で示される。

10ppm区は
 $y = 2.223 + 3.008 \ln t \dots\dots\dots (1)$

20ppm区は
 $y = 5.005 + 6.064 \ln t \dots\dots\dots (2)$

40ppm区は
 $y = 9.943 + 11.391 \ln t \dots\dots\dots (3)$

長期投与区は
 $y = 2.607 + 8.219 \ln t \dots\dots\dots (4)$

鶏体脂肪は
 $y = 8.822 + 45.607 \ln t \dots\dots\dots (5)$

r は10ppmで0.999, 20ppmで0.998, 40ppmで0.995, 20ppmの長期で0.964, 体脂肪で0.963といずれも高く、すべて1%で有意であった。

PCB 投与中止後の消失：鶏卵では、最初急速に減少し、1週以後減少の割合が緩慢になったので、前報で記

述したと同じ考え方に立って2区画モデル¹⁾をあてはめて検討した結果、(6)~(8)式が適用できた。また、鶏体脂肪のデータを最もよく説明するのは、(9)式である。ただし y は鶏卵、鶏体脂肪中の濃度、 t は投与中止後の経過期間(週)である。

10ppm区は
 $y = 3.266e^{-2.418 \cdot t} + 5.398e^{-0.0755 \cdot t} \dots\dots\dots (6)$

20ppm区は
 $y = 5.043e^{-1.671 \cdot t} + 10.319e^{-0.0628 \cdot t} \dots\dots\dots (7)$

40ppm区は
 $y = 14.112e^{-2.525 \cdot t} + 23.127e^{-0.0785 \cdot t} \dots\dots\dots (8)$

鶏体脂肪は
 $y = 88.677e^{-0.0424 \cdot t} \dots\dots\dots (9)$

鶏卵中の濃度について、区画1に由来する前期の相関係数は10ppmで-0.998, 20ppmで-0.829, 40ppmで-0.921といずれも高くすべて1%で有意であった。また、区画2に由来する後期の相関係数は10ppmで-0.994, 20ppmで-0.993, 40ppmで-0.995なお鶏体脂肪については-0.904でとも高くすべて1%で有意であった。

PCBの産卵に及ぼす影響：産卵成績は、表2に示すとおりで、試験中2羽のへい死鶏が出たが、その原因は痛風と黒頭病による病死であり、PCBによる死亡とは考えられなかった。PCB投与期間中の産卵率、卵重、1日1羽当り産卵量、飼料摂取量、飼料要求率、体重などは

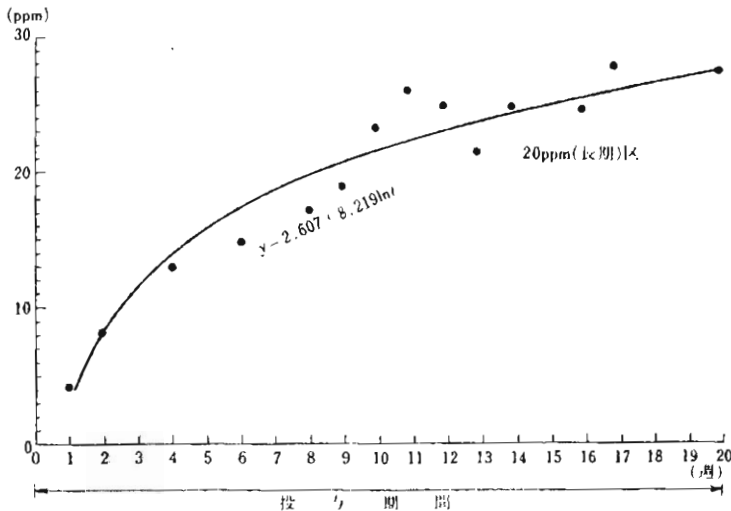


図3 鶏卵中のPCB含量の推移(その2)

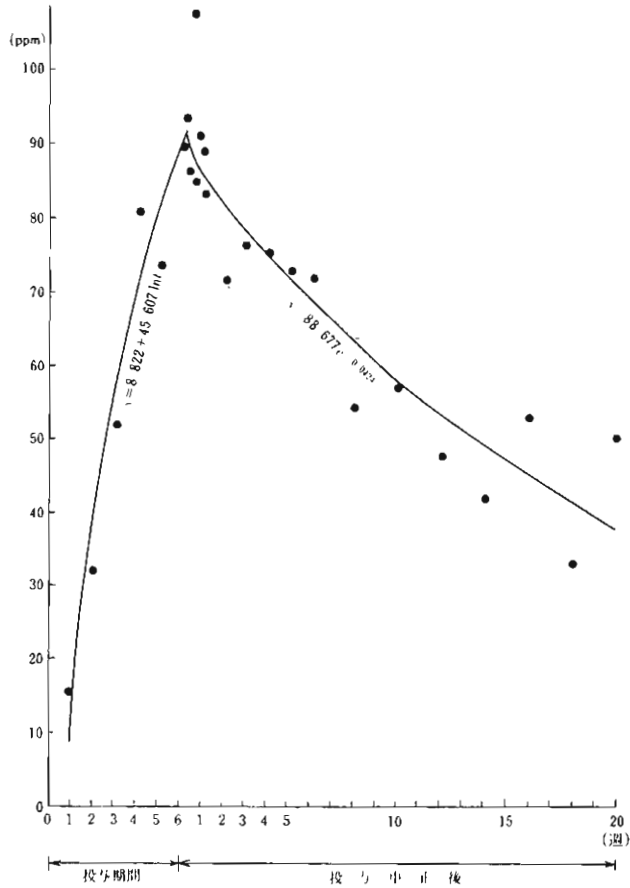


図4 鶏脂肪中のPCB含量の推移

表2 産卵成績

期別	項目区分	羽数		産卵率 (ヘンデイ) (%)	1ヶ平均 卵重 (g)	1日1羽 当り産卵 量 (g)	1日1羽 当り飼料 摂取量 (g)	飼料 要求率	1羽当り平均体重	
		開始時 (羽)	終了時 (羽)						開始時 (羽)	終了時 (羽)
PCB 給与 期間 (6週)	0 ppm区	15	15	79.0	55.6	44.0	116.2	2.64	1,844	1,949
	10 ppm区	15	15	68.9	52.2	35.9	108.7	3.02	1,809	1,901
	20 ppm区	15	15	72.2	53.8	38.8	111.7	2.88	1,781	1,999
	40 ppm区	15	14	74.8	54.8	41.0	113.0	2.75	1,799	1,899
PCB 給与 中止 期間 (20週)	0 ppm区	15	15	75.7	59.4	45.0	115.2	2.56	1,949	1,905
	10 ppm区	15	15	61.7	55.7	35.8	109.1	3.05	1,901	1,881
	20 ppm区	15	15	62.2	58.1	36.2	110.6	3.06	1,991	2,014
	40 ppm区	14	13	65.2	58.6	38.2	113.2	2.96	1,899	1,916

各区の間に有意な差はなく、また、PCB投与中止後についても同じであった。

考 察

KC-500 は鶏の体内に移行、残留すると、各ピークは若干の変化を受けた。すなわち、PCBは時間の経過とともに分解、代謝、排泄などなんらかの体内変化を受け、塩素数の多いものが少ないものより残留性が高いように思われる。

東京都公害研究所のヨイに対するPCBの蓄積を調べた報告¹²⁾はKC-500(塩素含有量54%の異性体混合物で、化学式は $C_{12}H_5Cl_5$)はあまり変化は認められなかったが、KC-300(塩素含有量42%の異性体混合物で、化学式は $C_{12}H_7Cl_3$)、KC-400(塩素含有量48%の異性体混合物で化学式 $C_{12}H_6Cl_4$)は塩素数の少ないPCBが本試験と同様に減少する結果を報告している。また、脊椎動物に投与したCTRANT¹³⁾の実験や吉村¹⁴⁾の試験でも大体著者と同じような傾向を示し、塩素数の多いものほど残留性が高いようである。

PCB投与中のPCBの鶏卵への移行について著者⁹⁾が前回行なった成績と比較するため、共分散分析により共通の回帰係数を求めると10ppm区では3.019、20ppm区および長期投与区では7.487であった。これはPCB含量に応じ200日齢位の鶏は、同じようにPCBを体内にとりこみ、鶏卵に移行させると思われる。投与中における鶏卵中のPCB含量の変化はPCB含量に応じた指数曲線をとって、かつ、同じようにPCBを体内にとりこみ鶏卵へのPCB移行の割合は飼料中含量に比例する。したがって、前回および今回行なった成績を各飼料中のPCB濃度で割ったデータから投与中の鶏卵のPCB濃度は次のような式によって求められる。yは鶏卵への移行濃度、xは飼料中のPCB含量(ppm)、t(t≥1)は投与期間(週)

$$y = x(0.231 + 0.296 \ln t) \dots \dots \dots (10)$$

また、(10)式より求めた計算値と前回および今回行なった成績から共分散分析によって共通の回帰係数を求めると10ppm区では3.002、20ppm区では7.301、40ppm区では11.583であった。

次に、鶏卵中の消失前期について共分散分析を行なった結果、共通の回帰が成立し、-1.926で前回の結果に比べ小さい値を示した。また、前回および今回の試験より前期の消失速度を共分散分析によって共通の回帰係数を求めると-2.153であった。200日齢位の鶏は区画1からの消失経過はほぼ同じ、いいかえれば K_{12} は一定であると思われる。

消失中の後期においては共通の回帰は成立しなかった。しかし、10ppm区、40ppm区の回帰係数がよく似てい

るため共分散分析を行なった結果、共通の回帰が成立し、-0.0770であった。つまり10ppm区と40ppm区の後期のPCB消失速度は等しく平行に減少するものと思われる。しかし、今回の20ppm区は10、40ppm区より若干消失速度は遅い傾向にあったが、前回の試験で10、20ppm区の後期の共通の回帰係数は-0.129でその消失速度は同じであった。また、前回行なった20ppm区と今回の10、40ppm区の後期の共通回帰係数を求めた結果、5%の危険率で共通の回帰係数が求められ-0.0775であった。以上のことから10~40ppmのPCB濃度では、鶏の排泄能力に差が認められないように思われる。また、前回および今回の試験より後期の共通の消失速度を求めることができず-0.0628~-0.138となり、後期の消失速度は前期のその1/34~1/16となった。

著者らが行なった試験では図2に示すとおり6週で10ppm区は7.50ppm、20ppm区で16.1ppmを示した。しかしSCOTT⁷⁾の試験で、PCB給与8週後における鶏卵中のPCB濃度は10、20ppmのPCB添加区において、それぞれ3.06と7.04ppmで著者の測定値の約半分であった。しかし著者らが行なった試験で6週目の10ppm区と20ppm区の濃度比が1:2.15であり、SCOTTの試験で8週目の10ppm区と20ppm区の濃度比は1:2.30となり、投与中のPCBの鶏卵への移行の割合は飼料中含量に比例すると思われる。

一方鶏体脂肪中のPCB投与中止後の消失過程は鶏卵のような2つの指数曲線の組み合わせでなく、(5)式があてはまるということは鶏体脂肪がPCBの体内貯蔵器であるという推定が妥当だったことを示すと思われる。また、(5)式が1区画モデルのものなので、2区画モデルの区画2に相当すると思われる。著者らの試験より2区画の体内貯蔵器官として体脂肪組織を考えており、また、FRIES¹⁵⁾が乳牛の体脂肪のPCBを測定し同じような結果を得ている。なお、鶏卵と鶏体脂肪のガスクロマトグラフがよく一致し同じ傾向を示すことにより、鶏卵中の区画2に由来するPCBは鶏体脂肪由来のものと推定される。鶏体脂肪中のPCBのバラツキが大きいのは、体脂肪量の変動が大きいためであろう。体脂肪が多ければPCB濃度は低く、少なければ濃くなる。したがって脂肪合成能力の個体差は、PCB排泄能力の個体差と関係するかも知れない。

生存率、産卵率、卵重、1日1羽当り産卵量、飼料摂取量、飼料要求率、体重についても前回試験した結果と同じく、各区とも有意な差はなかった。また、BRITON⁸⁾の行なった試験の結果と同じであった。しかし10~20ppmでは、産卵率が低下するという報告⁷⁾もある。