

II. 研究成果の刊行に関する一覧表

研究成果の刊行に関する一覧表レイアウト (参考)

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
丹後俊郎	ごみ焼却施設周辺の健康影響評価ーダイオキシン	丹後俊郎	医学データデザインから統計モデルまで	共立出版	東京	2002	p151-165

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
Tango T, Fujita T, Tanihata T, Minowa M, Doi Y, Kato N, Kunikane S, Uchiyama I, Tanaka M and Uehata T	Risk of adverse reproductive outcomes associated with proximity to municipal solid waste incinerators with high dioxin emission levels in Japan	Journal of Epidemiology	14	p83-93	2004
Kulldorff M, Tango T and Park PJ	Power comparisons for disease clustering tests	Computational Statistics and Data Analysis	42	p665-684	2003

### III. 研究成果の刊行物・別刷り

---

## 第7章

### ごみ焼却施設周辺の健康影響評価 ーダイオキシン

---

今日、都市ごみ焼却施設から排出されるダイオキシン類の及ぼす健康影響について国民の関心が高まり、その的確な対策が急がれている。しかし、マスコミなどで様々な曝露状況、健康影響に関する報道が繰り返されているがダイオキシン類の測定の難しさから問題の多いデータが一人歩きして見かけの影響、誤った解釈が国民を混乱に陥らせている可能性もある [95]。本章では、茨城県が主宰する「ダイオキシン類関連健康調査検討委員会」で実施した、新利根町ごみ焼却施設周辺住民の血液中ダイオキシン類濃度の測定分析を主要な目的とした調査のプロトコルと分析・解析結果 [96] を紹介し、この種の健康影響調査のデザインと統計解析の役割を解説する。なお、ダイオキシン類の分析・測定の詳細は省略する。

#### 7.1 問題の背景

茨城県新利根町には焼却能力が 60t/8h の機械化バッチ式の中型焼却炉を有する城取清掃工場が 1971 年より稼働しており、龍ヶ崎市、牛久市、利根町、河村村からのごみを処理してきた。しかし、これらの地域が東京のベッドタウン化するにつれてごみの量が急増し、焼却炉の処理能力の限界を越えたため、不完全燃焼と思われる黒煙と異臭を排出する状態が継続し、周辺住民からの苦情が多かったと言われている。同工場の操業停止などを求める訴訟を起こした周辺住民は 1996 年 3 月、摂南大学宮田教授に依頼し、工場周



辺の風下住民の血液中のダイオキシン類濃度調査が行われ、その結果の一部が1998年6月に発表された(第7回環境化学討論会, 京都)。男性13名で平均値81 pgTEQ/g(脂肪)<sup>1)</sup>、女性8名で平均値149 pgTEQ/g(脂肪)、最大値は30代の女性で463 pgTEQ/g(脂肪)であり、周辺住民に深刻な不安が高まった。また、土壌調査も1996年3月から12月にかけて実施され、工場南側200m地点で210 pgTEQ/g、500m地点で326 pgTEQ/gなどと高い値が発表されている。しかし、1998年7月に県が実施した同工場周辺の土壌調査では最高29 pg/g、平均9.47 pgTEQ/gという住民側と大きく食い違う数値となり、行政への不信感が高まったと言われている。

しかし、これらの数値は同じ検体でも超微量であるため、「分析法の違い、分析者(機関)の違い、ダイオキシン類濃度の定義の違い、定量下限未満の値(ND, not detected)の計算法の違い」などによって大きく異なるということに注意しなければならない。

## 7.2 調査プロトコル

本調査の目的は周辺住民の血液中濃度を明らかにするとともに、工場から排出されたダイオキシン類汚染との関連を疫学的に検討することにある。

### 7.2.1 調査対象地域

工場から排出されたダイオキシン類の周辺地域における着地濃度分布のシミュレーション値(千葉委員: 気象研究所)に基づいて工場の風下になることが多い南西地域を中心として、工場から同心円に、次の4ゾーンを選定。

1. Aゾーン: 半径1km以内
2. Bゾーン: 半径1-2km
3. Cゾーン: 半径2-5km
4. Dゾーン: 半径5-10km

---

<sup>1)</sup> 血中のダイオキシン類濃度は血中脂肪1gあたり毒性等量(TEQ, toxicity equivalence quantity)でピコ単位で測定する。

なお、上記各ゾーンの南西部において居住する住民からの応募が少なく、規定人員に達しない場合には、風向き、着地濃度シミュレーション値からみて同程度の影響を受けていると見なされる他の地域を同じゾーンから選定する。

### 7.2.2 作業仮説

調査対象地域全域のダイオキシン類汚染状況（土壌など）を詳細に調査することは困難なので、工場からの距離を汚染の代替指標として用いる。ダイオキシン類の着地濃度分布のシミュレーション値から判断して、次の仮説が設定された。

H<sub>0</sub>：ダイオキシン類の血液中濃度とごみ焼却施設からの距離とは無関係

H<sub>1</sub>：ダイオキシン類の血液中濃度は工場周辺と B ゾーンが高い

### 7.2.3 調査対象者

それぞれのゾーンに 1972 年以降、通算で 10 年以上、概ね週 5 日以上、および概ね 1 日 13 時間以上当該調査地区に居住している住民の中からそれぞれ 30 名（男性 15 名、女性 15 名；年齢 30～64 歳）、合計 120 名を住所地の市町村の保健衛生主管部課を通して公募する（約 100 ml もの血液を採取させていただくので無作為抽出ではない）。なお、下記の事前検査で検査不適と判定されたものは除く。120 名の根拠は県予算の限界値であり統計学的な検出力から計算されたものではない。年齢は交絡因子の一つとして、公募された住民のなかから各ゾーンごとの年齢分布が一定となるように選別してデザイン時点で調整する。

### 7.2.4 調査の種類

以下の 4 種類を実施する。なお、生活状況関連調査は性、年齢、居住歴以外の交絡要因の調整の可能性を検討するものである。

#### 1. 事前検査

問診、貧血、血圧などにより 100 ml の採血に耐えられるか否かを判定

する。

## 2. 血液濃度検査

採血量約 100 ml を採取する。採取した血液のダイオキシン類濃度検査は国立環境研究所が作成した分析方法のマニュアルに従って分析可能な検査機関を精度管理などを考慮して定め、委託する。ダイオキシン類の分析値としては

(a) PCDD (ポリ塩化ジベンゾ-p-ジオキシン) + PCDF (ポリ塩化ジベンゾフラン)

(b) Co-PCB (コプラナー PCB)

の2種類を併記し、また「ND (定量限界値未満)」の取り扱いの違いによる差を検討するため、

(a) 通称 EPA 方式 (ND を定量限界値に置き換える)

(b) 通称 WHO 方式 (ND を定量限界値の半分に置き換える)

(c) 通称厚生省方式 (ND を 0 とする。ただし、すべての異性体の分析値が ND の場合は WHO 方式に準ずる)

の3種類を計算するが、WHO 方式を主要なものとする。

なお、「住民が調査すると高く、行政が調査すると低い」結果がでるといふ研究者にとってはつまらない問題を考慮し、調査・測定分析の透明性を確保するために、ダイオキシン類の血液検査の検体には無作為に割り付けられた ID 番号をばり調査関係者、分析者に対して盲検化するとともに、検査機関に対しては4ゾーンのバランスを考慮に入れた置換ブロック法で割り付けた測定順序を指定する。

## 3. 欧米の検査機関とのクロスチェック (12 検体：各ゾーンに 3 検体)

## 4. 健康診断

## 5. 生活状況関連調査 (居住歴、職業歴、食生活、生活習慣、女性の妊娠・出産関連項目)

### 7.2.5 統計解析

ダイオキシン類の血中濃度と工場からの距離の関係を推定することを主眼とする。

1. ゾーン別のダイオキシン類の血中濃度は平均 ± 標準偏差で推定する。  
ゾーン間の差は Kruskal-Wallis 順位検定を適用する。
2. 焼却施設からの距離に基づく解析
  - (a) 120名の住所地から工場までの距離を計算し、縦軸にダイオキシン類濃度またはその対数值、横軸に距離をとりプロットする。
  - (b) 上記のデータにノンパラメトリック回帰モデルを適用する。
  - (c) 可能であれば、主な生活状況関連調査項目を調整した解析をダイオキシン類血中濃度を被説明変数、工場からの距離、生活状況関連調査項目を共変量とした一般化加法モデル (generalized additive model) で行う。

## 7.3 調査結果

### 7.3.1 調査対象者の決定

公募に対し、計178人が応募したが、不適格例、事前検査で100mlの血液が採血できない、と判定された41名を除いて137名を検討の対象とした。その内訳は(Aゾーン12, Bゾーン48, Cゾーン40, Dゾーン37)であった。年齢・性等をバランスさせて120名を選定したが、採血日に採血して分析可能な検体は115名であったため、残り5名を追加公募し、最終的に120名(Aゾーン14, Bゾーン46, Cゾーン30, Dゾーン30)を決定した。Aゾーンが少ないのはもともと半径1km以内には民家が比較的少ないことによるものである。したがって、その分、Bゾーン(Aゾーンに近い)の対象者数を増加することで調整した。調査対象者の地域分布を図7.1に示す。この地域は田んぼが多いので、各ゾーンとも道路添いの住民が対象となっている。また、性・年齢分布を表7.1, 図7.2に示す。ほぼ均等にばらついていることがわかる。

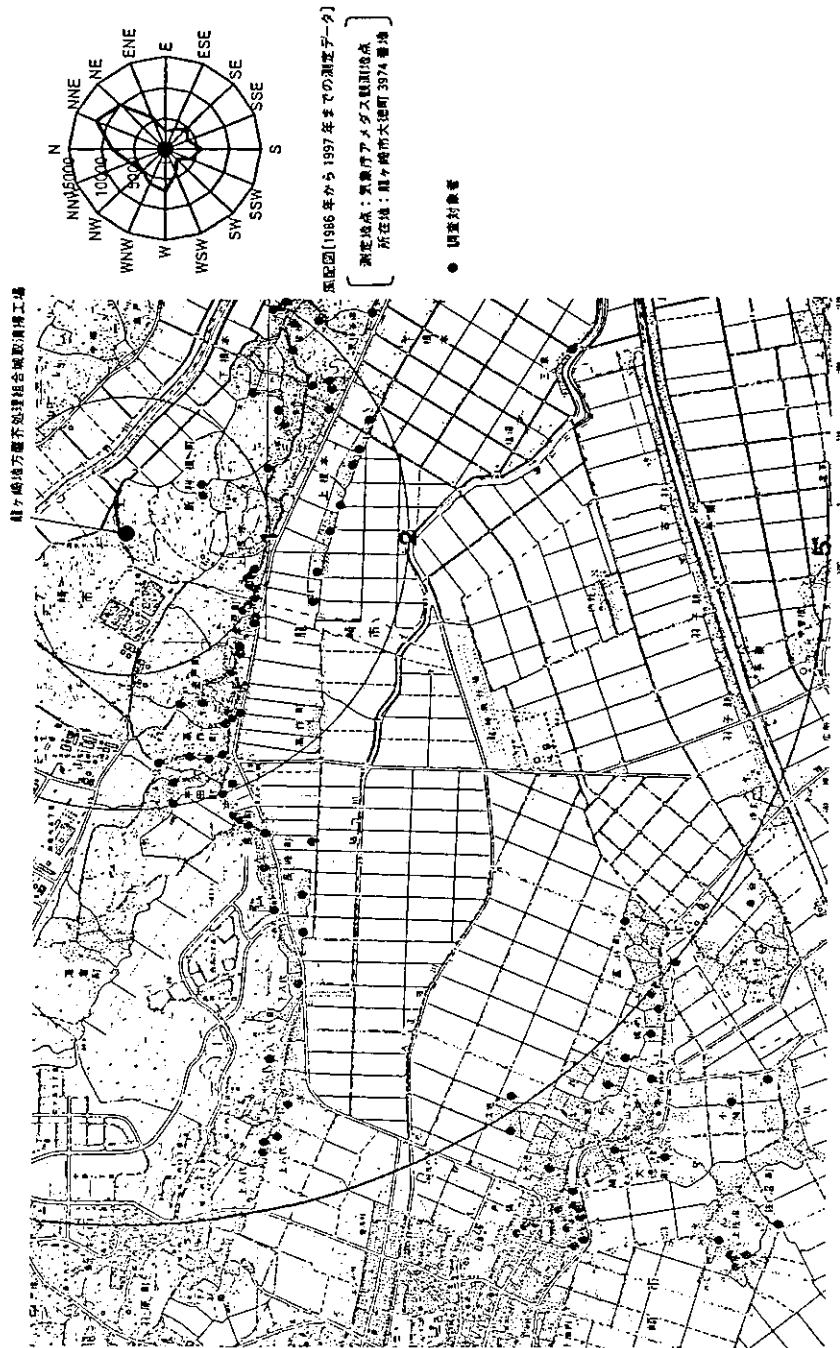


表 7.1 ゾーン別調査対象者数

ゾーン	A	B	C	D	計
男	7	23	15	12	57
女	7	23	15	18	63
全体	14	46	30	30	

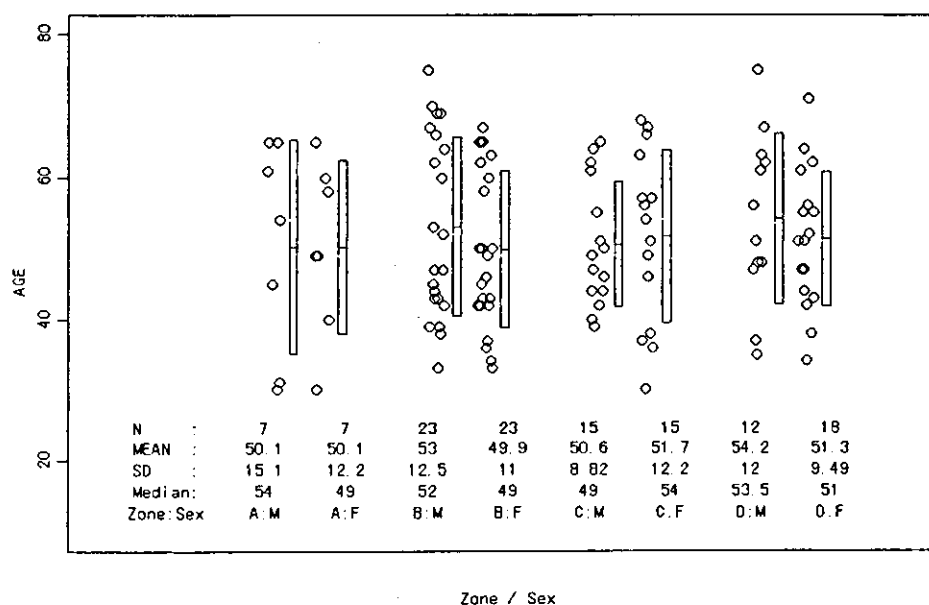


図 7.2 ダイオキシン類関連調査対象者 120 名の四つのゾーンにおける性・年齢分布

### 7.3.2 精度管理

ダイオキシン類などの分析値の精度を確保するために担当する分析機関において血液中のダイオキシン類等の分析技術に十分習熟のうえ分析を開始することとしたが、なお、二重測定、クロスチェックなどにより分析値の信頼性について評価を行った。

#### 内部精度管理

分析機関内誤差の評価と精度の管理のために、6 検体について二重測定を行った。その結果は表 7.2、表 7.3 に示す。表の中の相対測定値差とは

表 7.2 血液中のダイオキシン類の二重測定結果 (pg-TEQ/g 脂肪)

試料	1	2	3	4	5	6
1 回目測定	5.0	7.6	15	6.8	4.3	9.7
2 回目測定	7.4	9.1	19	8.9	5.6	11
相対測定値差	19.4%	9.0%	11.8%	13.4%	13.1%	6.3%

表 7.3 血液中のコプラナー PCB の二重測定結果 (pg-TEQ/g 脂肪)

試料	1	2	3	4	5	6
1 回目測定	3.4	8.4	9.5	7.3	3.7	11
2 回目測定	3.4	8.3	9.4	6.2	2.6	11
相対測定値差	0%	0.6%	0.5%	8.1%	17.5%	0%

$$\begin{aligned} \text{相対測定値差} &= \frac{|X_1 - \bar{X}|}{\bar{X}} \times 100\% \\ &= CV/\sqrt{2} \times 100\% \end{aligned}$$

と定義され、この分析の世界ではよく利用されているようである。特に信頼性に問題がある結果ではなかった。

### 外部精度管理

今回の分析値の正確度を知るため、全試料の10%に相当する12検体をドイツの分析機関に分析を依頼しその結果を比較した。表7.4に血液中ダイオキシン類濃度の比較を示す。独立した二つの分析機関により全く異なった分析法により測定されたにもかかわらず、ほぼ良好な一致をみており、今回のダイオキシン類の測定値はほぼ信頼できるものと思われた。

### 7.3.3 ゾーン別の血液中ダイオキシン類濃度

各ゾーンの測定値は定量下限値の取り扱い方の異なる三つの方式について計算したが、±1～2 (pg-TEQ/g 脂肪) 以内の誤差なので、ここではWHO方式の値を表7.5に示した。この結果から、ダイオキシン類に関して、ゾーン別の測定値の有意な差はみられなかった。コプラナーPCBに関して、ゾーン間の有意な差はみられなかった。なお、この結果は環境庁がすでに実施し

表 7.4 血液中のダイオキシン類濃度のクロスチェックの結果 (pg-TEQ/g 脂肪)

試料 番号	脂肪当たりのダイオキシン類濃度			全血液中のダイオキシン類濃度		
	日本	ドイツ	相対測定値差 (%)	日本	ドイツ	相対測定値差 (%)
1	4.7	6.7	17.5	2.5	2.4	2.0
2	10	11	4.8	4.8	4.2	6.7
3	8.3	9.1	4.6	5.2	4.2	10.6
4	13	14	3.7	6.9	5.5	11.3
5	11	13	8.3	6.8	5.7	8.8
6	6	6	0	3.0	2.5	9.1
7	10	9.7	1.5	4.5	3.6	11.1
8	6.4	8.6	14.7	3.3	3.1	3.1
9	8.5	11	9.75	5.1	4.4	7.4
10	10	12	9.1	5.2	4.2	10.6

表 7.5 定量下限値未満を下限値の 1/2 とした WHO 方式 (pg-TEQ/g 脂肪)

	ゾーン				全体
	A	B	C	C	
ダイオキシン類					
平均値	9.9	10	9.1	9.7	9.7
標準偏差	3.8	3.7	3.2	4.3	3.7
中央値	9.3	9.7	8.5	8.8	9.0
範囲	4.7-17	4.1 - 21	4.7-16	5.3-24	4.1-24
コプラナー PCB					
平均値	7.0	7.9	6.5	7.3	7.3
標準偏差	2.9	5.1	2.7	3.8	4.1
中央値	7.1	6.7	6.3	6.1	6.6
範囲	2.4-12	1.4-24	2.1-12	2.7-21	1.4-24

た大阪府能勢町地域、および埼玉県所沢市での調査結果 (表 7.6) と比較すると、ダイオキシン類およびコプラナー PCB いずれも平均値において各ゾーンとも低い状況であった。

#### 7.3.4 焼却施設からの距離

##### 局所重み付き線形回帰モデル

調査対象者の居住地の城取清掃工場からの距離別検出状況は、ダイオキシン類に関しては図 7.3 が男女全体、図 7.4 が男性の検出分布を示している。ま



表 7.6 大阪府能勢町および埼玉県所沢市における調査結果 (環境庁, 1999). 定量下限値未満を下限値の 1/2 とした WHO 方式を採用 (pg-TEQ/g 脂肪)

	大阪府能勢町		埼玉県所沢市等	
	周辺地区	対照地区	周辺地区	対照地区
	n = 15	n = 17	n = 16	n = 15
ダイオキシン類				
平均値	21	20	14	14
標準偏差	15	12	5.5	5.8
中央値	17	18	13	14
範囲	4.2-57	6.8 - 59	7.3-26	8.2-30
コプラナー PCB				
平均値	14	12	10	9.5
標準偏差	12	6.1	5.2	5.0
中央値	11	10	9.3	7.1
範囲	2.1-47	4.0-27	2.9-19	3.9-20

たコプラナー PCB に関しては図 7.5 が男女全体, 図 7.6 が男性の検出分布を示している. それぞれの図に示されている「水平線」は焼却施設周辺の平均濃度レベルで, 「数種類の曲線」は統計ソフト S-PLUS のスムーザー loess<sup>2)</sup> を利用して濃度と距離との関係を推定したもので, loess の平滑パラメータ (span, 「局所重み」の計算に使用するデータの数の全体に対する割合) を 4 種類に変えて描いたものである. パラメータを変化させたことによる傾向の変動はみられない. この結果, 男性のダイオキシン類濃度についてわずかながら距離減衰がみられる. 施設付近と 7km 離れた地点では約 1.5 pg の差がある. 女性については距離減衰は明らかではなかった. 全体では男性の距離減衰に引張られて同様の傾向がみられた. しかし, コプラナー PCB に関しては男女ともその傾向はみられない.

#### 一般化加法モデル

次に, 男子に観察された「微妙な距離 (DIST) 減衰」を, 年齢 (AGE) と曝露年数 (EXPY) の二つの交絡因子を調整しても同様な距離減衰が観察される

<sup>2)</sup> ノンパラメトリック回帰モデルの中の局所重み付き線形回帰モデル (locally weighted running-line smoother) の一つで, Cleveland[97] が提案したもの. スムーザーについては 2.4 節にも解説がある.

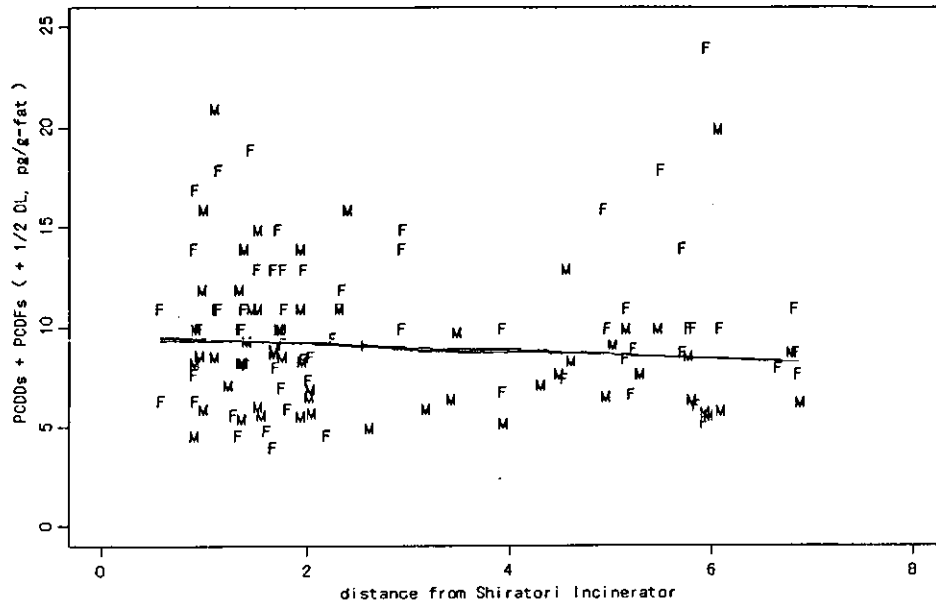


図 7.3 ダイオキシン類の距離別検出状況 (男女)

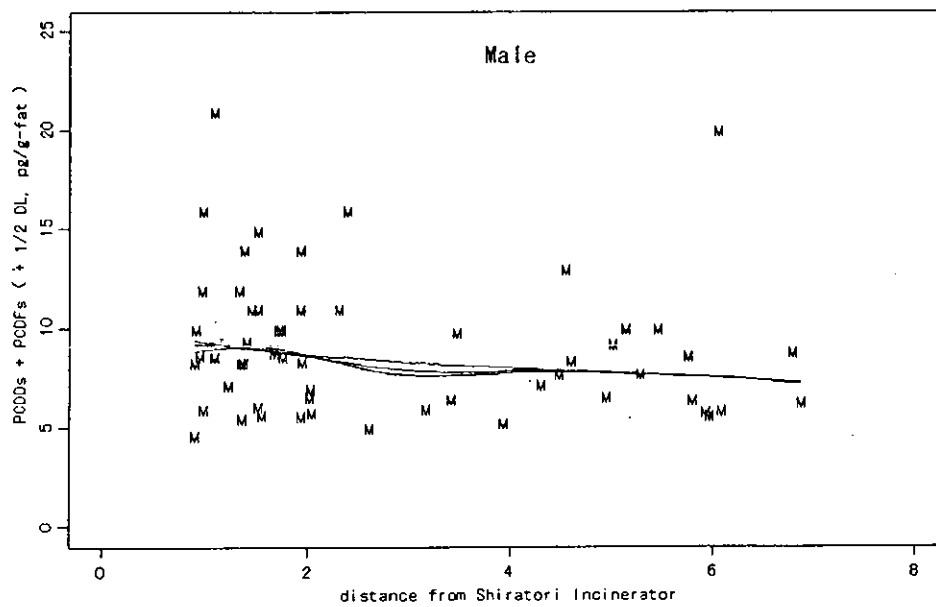


図 7.4 ダイオキシン類の距離別検出状況 (男)

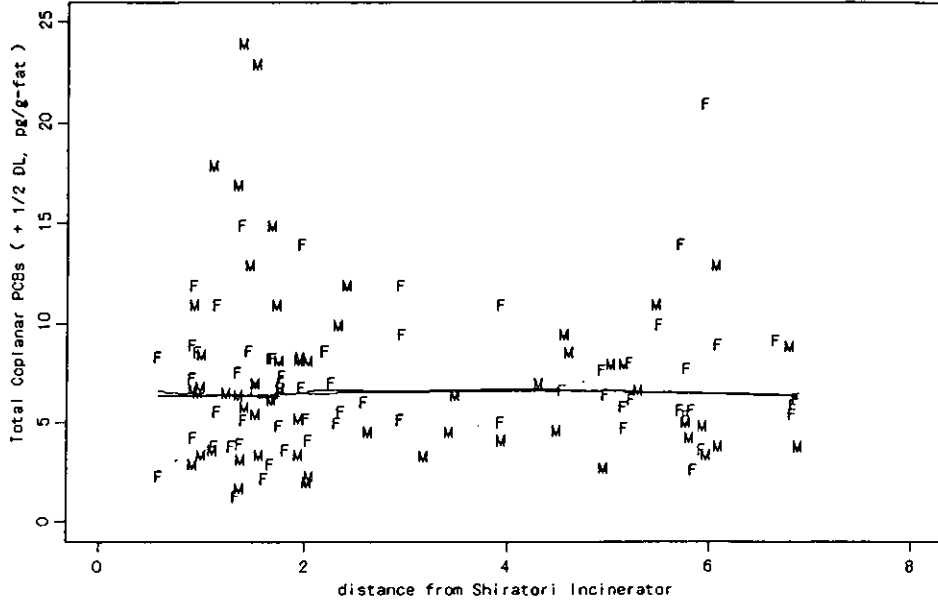


図 7.5 コプラナー PCB の距離別検出状況 (男女)

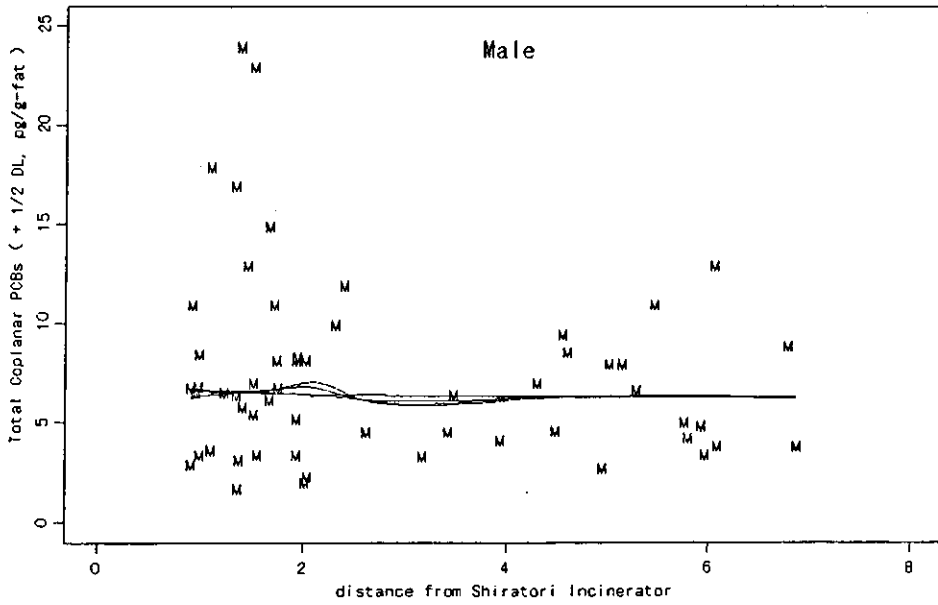


図 7.6 コプラナー PCB の距離別検出状況 (男)

表 7.7 血液中のダイオキシン濃度とごみ焼却施設からの距離：線形モデルでの解析

Variable	$\hat{\beta}$	Std. Error	t value	p value
(Intercept)	1.0542	3.0915	0.341	
age	0.1117	0.0380	2.939	0.005
expyear	0.1182	0.1003	1.179	0.243
distance	-0.2456	0.2415	-1.016	0.314

RSS = 561.285, df = 53,  $\sigma_e^2 = 10.59$ .

か否かを検討するための方法として、その微妙な関係に線形を仮定しない、データ自身が語る多変量解析の一つ一般化加法モデル (generalized additive model)[19] を適用する。この場合のモデルは

$$y_i = \beta_0 + s_1(\text{AGE}_i) + s_2(\text{EXPY}_i) + s_3(\text{DIST}_i) + \epsilon_i \quad (7.1)$$

$$(i = 1, \dots, n)$$

となる。ここで、それぞれの  $s_j(x)$  はスモーカーでその種類はなんでもよいし、変数ごとに変えてもかまわないが、前節同様 loess を適用しよう。

なお、生活状況関連調査の中に、ダイオキシン類濃度を検討する上で重要な食習慣調査の項目があったが、精度の高い調査ができなかったので、ここでは割愛した。本調査では年齢の調整はすでに、調査デザイン時点で行ったが、年齢とダイオキシン類、コプラナー PCB との散布図、また曝露年数の指標の一つとして、施設が稼働してからの居住年数との散布図を図 7.7 に示す。明瞭に年齢とともに濃度が上昇していることがわかる。曝露年数に関しては調査対象と選ばれた住民が焼却施設が稼働する前 (27 年前) から住んでいたため、ほとんど 27 となっているため、あまり明確な関連が観察されていない。

まず、この二つの共変量を調整するための第 1 段階として、通常の線形モデルで解析してみると表 7.7 に示す結果が得られた。年齢とは有意な関連が認められたが、距離と負の関連が認められるが、有意ではない。

次に統計ソフト S-PLUS の一般化加法モデルの関数 gam を適用した結果を表 7.8 に示す。loess の平滑パラメータである span を 0.7 に設定した。いず