最 終 報 告 書

4－クロロフェノールのほ乳類培養細胞を用いる染色体異常試験

（試験番号：98-110）

財団法人　畜産生物科学安全研究所

目　次

要約 …… 1頁
試験目的 …… 2
材料および方法 …… 2
1．被験物質 …… 2
2．対照物質 …… 3
3．溶媒 …… 3
4．試験細胞株 …… 3
5．培養液 …… 3
6．培養条件 …… 4
7．S9 mix …… 4
8．細胞増殖抑制試験 …… 5
1)　被験物質の供試液の調製 …… 5
2)　細胞の処理 …… 5
3)　細胞増殖率の測定 …… 6
9．染色体異常試験 …… 7
1)　被験物質および陽性対照物質の用量 …… 7
2)　被験物質および陽性対照物質の供試液の調製 …… 7
3)　細胞の処理 …… 7
4)　試験群の構成および使用シャーレ数 …… 8
5)　染色体標本の作製および細胞増殖率の測定 …… 8
6)　染色体の観察 …… 9
7)　染色体異常の分類および集計 …… 9
8)　試験結果の判定 …… 10

結果 …… 10
1．染色体異常試験（短時間処理法：S9 mix 非存在下）…… 10
2．染色体異常試験（短時間処理法：S9 mix 存在下）…… 10
3．D_{20}値 …… 11
結論および参考事項 …… 12
参考文献 …… 13

表

表1　4－クロロフェノールの染色体異常試験結果
（短時間処理法：S9 mix 非存在下）…… 15
表2　4－クロロフェノールの染色体異常試験結果
（短時間処理法：S9 mix 存在下）…… 16

図

図1　構造異常を有する細胞の出現頻度 …… 17
図2　数的異常を有する細胞の出現頻度 …… 17

要　約

4－クロロフェノールの染色体異常誘発性の有無を検討するため，チャイニーズハムスター肺由来の線維芽細胞株（CHL/IU）を用いて *in vitro* における短時間処理法による染色体異常試験を実施した。

染色体異常試験に用いる用量を決定するため，25～500 μg/mL の範囲で細胞増殖抑制試験を行った。その結果，S9 mix 非存在下では 400 μg/mL 以上，また，S9 mix 存在下では 300 μg/mL 以上の用量で 50%を上回る細胞増殖抑制が認められた。

したがって，染色体異常試験における用量は，S9 mix 非存在および存在下ともに 50, 100, 200, 300 および 400 μg/mL とした。

試験の結果，S9 mix 非存在下では用量依存的な数的異常細胞（倍数体）の増加が認められ，100 および 200 μg/mL での増加は統計学的に有意なものであった。また，染色体の構造異常を有する細胞についても用量依存的な増加が認められ，300 μg/mL での増加は有意なものであった。400 μg/mL では，細胞毒性のため観察可能な分裂中期像は認められなかった。S9 mix 存在下においても用量依存的な数的異常細胞（倍数体）の増加が認められ，100 および 200 μg/mL での増加は統計学的に有意なものであった。また，50～200 μg/mL で構造異常を有する細胞の有意な増加も認められた。300 μg/mL 以上では，細胞毒性のため観察可能な分裂中期像は認められなかった。

以上の成績から，本実験条件下では，4－クロロフェノールの CHL/IU 細胞に対する染色体異常誘発性は陽性と判定した。計算されたD_{20}値は，数的異常に関しては S9 mix 非存在下では 0.48 mg/mL，S9 mix 存在下では 0.68 mg/mL であった。また，構造異常に関しては S9 mix 非存在下では 0.59 mg/mL であり，S9 mix 存在下では用量依存性の増加ではなかったため，妥当なD_{20}値は得られなかった。

試 験 目 的

この試験は，４－クロロフェノールのほ乳類培養細胞に対する染色体異常誘発性の有無を明らかにするために実施した。

材料および方法[1, 2)]

1．被験物質

名称(略号)：　4－クロロフェノール（4CP）

別名　パラクロロフェノール

ＣＡＳ番号：　106-48-9

ロット番号：

純　　度：　99.29％（平成10年12月18日分析）〔不純物：2,6－ジクロロフェノール 0.37％，2,4－ジクロロフェノール 0.34％〕

入手先(製造元)：

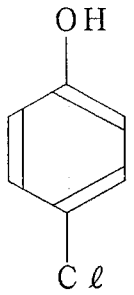
入　手　日：　平成10年12月21日

入　手　量：　250ｇ

物理化学的性状：

化 学 名　4-Chlorophenol

構 造 式



分 子 式　$C_6H_5C\ell O$

分 子 量　128.56

性状(常温)　白色～淡褐色結晶

融　　点　43.2～43.7℃

沸　　点　220℃

蒸 気 圧　133 Pa 以下

溶 解 性　水：2.71%，アセトン，ジメチルスルホキシド（DMSO）：易溶

安 定 性：　安定〔実験終了後，残余被験物質を　　において分析（平成11年6月16日）した結果，純度は99.32%で，実験期間中被験物質は安定であったことを確認した。〕

保管条件：　室温・暗所，密栓

2．対照物質

陰性対照物質は，被験物質の溶媒として使用した生理食塩液（株式会社大塚製薬工場，ロット番号 K8H89，局方）を用いた。陽性対照物質は，連続処理法では 1-methyl-3-nitro-1-nitrosoguanidine（MNNG，Aldrich Chemical Company，ロット番号 00613PN，純度 97%）を，短時間処理法では 3,4-Benzo[*a*]pyrene（B[*a*]P，Sigma Chemical Company，ロット番号 57F-3434，純度 98%）を用いた。

3．溶媒

被験物質は水に 2.71%溶解することから，溶媒には生理食塩液を用いた。

陽性対照物質の MNNG および B[*a*]P の溶媒についても，DMSO〔和光純薬工業株式会社，ロット番号 ACH7185，純度 99.9%〕を用いた。

4．試験細胞株

国立医薬品食品衛生研究所 変異遺伝部（元：国立衛生試験所 変異原性部）から昭和60年1月13日に分与を受けたチャイニーズハムスター肺由来の線維芽細胞株（CHL/IU）を使用した。供試細胞は，浮遊細胞液に10%の割合で DMSO を添加し，液体窒素条件下で保存しておいたものを培養液に戻し，解凍後の継代数が2回までのものを使用した。

5．培養液

Eagle-MEM 粉末培地（Gibco Laboratories，ロット番号 1019178）を常法に従い調製し，これに非働化（56℃，30分間加熱処理）仔牛血清（Gibco Laboratories，ロット番号 1019034）

を10%の割合で添加したものを用いた。

6．培養条件

供試細胞は，CO_2インキュベーター（Napco 社）を用い，CO_2濃度5％，空気 95%，温度 37 ℃，加湿条件下で培養した。

7．S9 mix

S9 mix は，ラット肝臓のホモジネートの薬物代謝酵素画分（S9）にコファクターを加えて凍結されたものを，キッコーマン株式会社から購入（用量設定試験：ロット番号 CAM-394，平成10年12月4日製造，平成10年12月18日購入，染色体異常試験：ロット番号 CAM-396，平成11年1月22日製造，平成11年3月9日購入）し，−80℃以下で保存したものを使用時に冷水中で解凍して用いた。使用したS9 の製造法および S9 mix の 1 mL 当たりの組成は，次のとおりである。

〔S9 製造法〕

A．使用動物

a）種・系統：　Sprague-Dawley 系ラット（日本エスエルシー株式会社）

b）性・週齢：　雄・7 週齢

c）体　　重：　200～239 g（CAM-394），207～252 g（CAM-396）

B．誘導法

a）誘導物質：　Phenobarbital（PB），5,6-Benzoflavone（BF）

b）投与経路：　腹腔内投与

c）投与法（投与開始日起算）：

1日目 − PB 30 mg/kg，　2，3，4 日目 − PB 60 mg/kg

3日目 − BF 80 mg/kg

C．調製法

最終投与の翌日に肝臓ホモジネートを遠心分離（9,000×g）し，その上清を採取。

〔S9 mix 1 mL あたりの組成〕

S9	0.3 mL
$MgCl_2$	5 μmol/0.1 mL
KCl	33 μmol/0.1 mL
G-6-P	5 μmol/0.1 mL
NADP	4 μmol/0.1 mL
HEPES 緩衝液	4 μmol/0.2 mL
蒸留水	0.1 mL

8．細胞増殖抑制試験

染色体異常試験における被験物質の適切な用量を検討するため，短時間処理法の場合は 25，50，100，200，300，400 および 500 μg/mL，連続処理法の場合は 6.25，12.5，25，50，100，200 および 300 μg/mL の用量を用いて，次に記載する細胞増殖抑制試験を行なった。試験には各用量について2枚のシャーレを使用した。

1) 被験物質の供試液の調製

被験物質の供試液は，使用時に被験物質を生理食塩液に溶解して最高用量の供試液（原液）を調製した。次いで，原液の一部を生理食塩液で順次希釈して所定濃度の供試液を調製した。被験物質の供試液の添加量は，各シャーレの培養液量の 10 vol%とした。

2) 細胞の処理

短時間処理法の場合，直径 6 cm の円形プラスチック製シャーレ（Becton Dickinson 社）に 4×10^3 個/mL の細胞を含む培養液 5 mL を加え，培養開始3日後に S9 mix 非存在下の場合は各シャーレとも 3 mL を残して培養液を取り除き，生理食塩液（陰性対照）または被験物質の供試液各 0.3 mL をシャーレに加えた。また，S9 mix 存在下の場合は各シャーレとも 2.5 mL を残して培養液を取り除き，S9 mix 0.5 mL を加えた後，生理食塩液または被験物質の供試液各 0.3 mL をシャーレに加えた。培養6時間後に培養液を取り除き，新しい培養液 5 mL を加えて18時間培養した。一方，連続処理法の場合は，短時間処理法の場合と同様の方法で細胞を培養し，培養開始3日後に生理食塩液または被験物質の供試液各 0.5 mL を加えて24時間および48時間培養した。培養終了後，培養液を取り除き，生理食塩液で細胞表面を2回洗浄し，10%ホルマリン水溶液を加えて約10分間固定した。固定後，水洗し，0.1 w/v%クリスタルバイオレット水溶液で約10分間染色した。水洗後，室温で

一晩自然乾燥した。

3) 細胞増殖率の測定

上述の 8-2) で固定・染色した細胞は，染色の濃淡から細胞密度を単層培養細胞密度計（モノセレータⅡ，オリンパス光学工業株式会社）を用いて測定し，陰性対照群の細胞増殖率を 100%とした時の各用量群の細胞増殖率を求めた。

その結果は，下表に示したとおり，短時間処理法においては，S9 mix 非存在下では 400 μg/mL 以上，また，S9 mix 存在下では 300 μg/mL 以上の用量で 50%を上回る細胞増殖抑制が認められ，50%細胞増殖抑制用量はそれぞれ 300～400 μg/mL 間および 200～300 μg/mL 間にあるものと判断された。連続処理法においては，24時間および48時間処理ともに 200 μg/mL 以上で 50%を上回る細胞増殖抑制が認められ，50%細胞増殖抑制用量はともに 100～200 μg/mL 間にあるものと判断された。

〔短時間処理法〕

用　量	細胞増殖率（%）			
(μg/mL)	S9 mix 非存在下		S9 mix 存在下	
0 （溶媒）	100	100 [100.0]	100	100 [100.0]
25	99	95 [97.0]	107	98 [102.5]
50	98	95 [96.5]	102	90 [96.0]
100	93	86 [89.5]	95	88 [91.5]
200	77	76 [76.5]	100	86 [93.0]
300	62	51 [56.5]	39	42 [40.5]
400	18	17 [17.5]	15	17 [16.0]
500	13	12 [12.5]	14	12 [13.0]

[　]：平均値

〔連続処理法〕

用　量	細胞増殖率（%）	
(μg/mL)	24 時間処理	48 時間処理
0 （溶媒）	100　100 [100.0]	100　100 [100.0]
6.25	97　93 [95.0]	106　94 [100.0]
12.5	99　88 [93.5]	96　86 [91.0]
25	88　88 [88.0]	94　81 [87.5]
50	88　80 [84.0]	78　72 [75.0]
100	73　66 [69.5]	57　51 [54.0]
200	35　31 [33.0]	17　14 [15.5]
300	14　13 [13.5]	5　5 [5.0]

[　]：平均値

9．染色体異常試験（短時間処理法）

1）被験物質および陽性対照物質の用量

細胞増殖抑制試験の結果から，被験物質の用量は，50%細胞増殖抑制用量の前後が含まれ，かつ3用量以上のデータが得られる事を考慮して，S9 mix 非存在および存在下ともに 50，100，200，300 および 400 μg/mL の5用量とした。陽性対照物質の MNNG は 2.5μg/mL，B[a]P は 10 μg/mL の用量を用いた。

2）被験物質および陽性対照物質の供試液の調製

被験物質の供試液は，使用時に被験物質を生理食塩液に溶解して最高用量の供試液（原液）を調製した。次いで，原液の一部を生理食塩液で順次希釈し，所定濃度の供試液を調製した。陽性対照物質の MNNG は 0.5 mg/mL，B[a]P は 2.0 mg/mL の供試液を調製した。

3）細胞の処理

4×10^3 個/mL の細胞を含む培養液 5 mL を直径 6 cm の円形プラスチック製シャーレ（Becton Dickinson 社）に加え，3日間培養後，下記の方法で処理した。培養には1用量当たり4枚のシャーレを用い，そのうち2枚は染色体標本作製用に，残りの2枚は細胞増殖率測定用に使用した。但し，陽性対照群については細胞増殖率の測定は行わず，用いるシャーレは染色体標本作製用の2枚とした。

S9 mix 非存在下の場合は，各シャーレとも 3 mL を残して培養液を取り除き，生理食塩液および被験物質供試液は 0.3 mL，MNNG の供試液は 0.015 mL をそれぞれのシャーレに添加して培養した。また，S9 mix 存在下の場合は，各シャーレとも 2.5 mL を残して培養液を取り除いた後，S9 mix 0.5 mL を加え，続いて生理食塩液および被験物質供試液は 0.3 mL，B[*a*]P の供試液は 0.015 mL をそれぞれのシャーレに添加して培養した。S9 mix 非存在および存在下のいずれの場合も，培養 6 時間後に培養液を取り除き，新しい培養液 5 mL を加え，さらに18時間培養した。

4) 試験群の構成および使用シャーレ数

〔S9 mix 非存在下〕

用量（μg/mL）	使用シャーレ数
0 （陰性対照）[a]	4
50	4
100	4
200	4
300	4
400	4
2.5 （陽性対照）[b]	2

a ： 生理食塩液，b ： MNNG，使用シャーレ総数 ： 26

〔S9 mix 存在下〕

用量（μg/mL）	使用シャーレ数
0 （陰性対照）[a]	4
50	4
100	4
200	4
300	4
400	4
10 （陽性対照）[b]	2

a ： 生理食塩液，b ： B[*a*]P，使用シャーレ総数 ： 26

5) 染色体標本の作製および細胞増殖率の測定

標本作製の 2 時間前に，培養中の各シャーレにコルセミド（Gibco Laboratories，ロット番号 1010169）を最終濃度として 0.2 μg/mL となるように添加した。培養終了後，培養液

を取り除き，0.2%トリプシン水溶液 2 mL で処理して細胞をシャーレから剥離し，新鮮培養液 5 mL を入れた遠沈管に移し，1000 rpm，5分間遠心分離した。上清を捨て，細胞沈渣に低張液の 75 mM 塩化カリウム水溶液 4 mL を加えて懸濁し，37℃で15分間低張処理した。低張処理後，用時調製した冷却メタノール・酢酸（3:1）混合液（v/v）1 mL を添加して固定した。1000 rpm で5分間遠心分離し，上清を捨て，細胞沈渣を新しい固定液 4 mL で懸濁・固定した。この操作を3回繰り返した後，少量の固定液で適切な密度に細胞を懸濁し，スライドグラスの2か所に1滴ずつ滴下し，室温で一晩自然乾燥した。乾燥後，Sφrensen 緩衝液（pH 6.8，株式会社ヤトロン，ロット番号 1478）を用いて希釈した 1.4 vol%ギムザ液で約15分間染色した。水洗後，室温で乾燥して染色体標本とした。標本は，1シャーレ当たり3枚作製した。

細胞増殖率の測定は，培養終了後，培養液を取り除き，生理食塩液で細胞表面を2回洗浄し，10%ホルマリン水溶液を加えて約10分間固定した。固定後水洗し，0.1 w/v%クリスタルバイオレット水溶液で約10分間染色し，水洗後乾燥した。単層培養細胞密度計（モノセレーターⅡ，オリンパス光学工業株式会社）を用いて陰性（溶媒）対照群の細胞増殖率を100%とした時の各用量群の細胞増殖率を求めた。

6) 染色体の観察

染色体は，60倍のノーカバー対物レンズを用いて総合倍率 600倍で検鏡した。観察は標本をすべてコード化し，盲検法で行った。各用量とも染色体が明瞭に識別でき，染色体の数が 25±2 本の分裂中期像について，1シャーレ当たり 100個，すなわち，1 用量当たり2枚のシャーレの合計 200個について観察した。

7) 染色体異常の分類および集計[3)]

染色体異常の分類は，構造異常については，染色分体型の切断と交換，染色体型の切断と交換（二動原体，環状染色体など）およびその他（断片化など）とした。数的異常については，倍数性細胞（倍数体）のみを記録した。

ギャップ（染色分体型および染色体型）については，異常として記録したが，構造異常には含めなかった。ギャップは染色分体幅よりも狭い非染色性部位とした。

染色体異常の集計については，上述に分類した異常を一つでも有する細胞は異常細胞として記録し，異常の種類別の集計を行った。構造異常の総数は，観察した細胞 200個中に認められた異常細胞数を表示した。

8) 試験結果の判定

試験結果の判定に当たり，構造異常および倍数性細胞の出現頻度は，多試料χ^2検定を行って有意差（有意水準５％以下）が認められた場合は，Fisher の直接確率法を用いて陰性対照群と各用量群との間の有意差検定（有意水準は多重性を考慮して，５％または１％を処理群の数で割ったものを用いた。）を行った。その結果，陰性対照群と比較して，被験物質群における染色体異常細胞の出現頻度が２用量以上で有意に増加し，かつ用量依存性あるいは再現性が認められた場合，陽性と判定した。

結　果

1．染色体異常試験（短時間処理法：S9 mix 非存在下）

結果は表１に示した。染色体の構造異常を有する細胞の出現頻度は，陰性対照群では 1.5%であったが，被験物質群では 50，100，200 および 300 μg/mL でそれぞれ 2.0，2.0，5.0 および 12.0%と用量依存的な増加が認められ，300 μg/mL での増加は，陰性対照群と比較して統計学的に有意なものであった。陽性対照群の MNNG による染色体構造細胞の出現頻度は 91.5%であり，顕著な染色体異常誘発が確認された。

数的異常を示す倍数体の出現頻度は，陰性対照群で 0.5%であったのに対し，被験物質群では 50，100，200 および 300 μg/mL でそれぞれ 1.5，6.5，8.0 および 0.5%と 50～200 μg/mL の範囲で用量依存的な増加が認められ，100 および 200 μg/mL での増加は有意なものであった。陽性対照群では倍数性細胞は認められなかった。

なお，400 μg/mL においては，細胞毒性のため観察可能な分裂中期像が認められなかった。

2．染色体異常試験（短時間処理法：S9 mix 存在下）

結果は表２に示した。染色体の構造異常を有する細胞の出現頻度は，陰性対照群では 1.0%であったが，被験物質群では 50，100 および 200 μg/mL でそれぞれ 11.5，9.5 および 7.0%といずれも有意な増加が認められた。陽性対照群の B[*a*]P による染色体構造異常細胞の出現頻度は 44.5%であり，顕著な染色体異常誘発が確認された。

倍数体については，陰性対照群では認められなかったが，被験物質群では 50，100 およ

び 200 μg/mL の出現頻度がそれぞれ 3.0, 4.5 および 6.0%と用量依存的な増加が認められ 100 および 200 μg/mL での増加は有意なものであった。陽性対照群では 0.5%の低い出現頻度であった。なお, 300 μg/mL 以上の用量では, 細胞毒性のため分裂中期像が認められなかった。

3. D_{20}値[4)]

短時間処理法 S9 mix 非存在および存在下において, 陽性値を示す染色体異常細胞の増加が認められたため, D_{20}値〔分裂中期像の20%に異常を誘発させるために必要な被験物質の推定用量 (mg/mL)〕を算出した。

その結果は次表に示したとおりであり, 構造異常に関しては, S9 mix 非存在下において D_{20}値は 0.59 mg/mL であった。S9 mix 存在下では用量依存性の増加ではなかったため, 妥当なD_{20}値は得られなかった。数的異常に関しては, S9 mix 非存在および存在下のそれぞれのD_{20}値は, 0.48 mg/mL および 0.68 mg/mL であった。

短時間処理法	回帰曲線	D_{20}値 (μg/mL)	S値 $\left(S=\frac{D_{20}}{r}\times\frac{1}{n^2}\right)$
〔構造異常〕			
S9 mix 非存在下	y=0.0340517x-0.0732775(r=0.928551)	585.19	25.2087
	y=8.54091x-12.4395(r=0.82147)	6282.54*	305.916
〔数的異常〕			
S9 mix 非存在下	y=0.0402857X+0.599999(r=0.934103)	481.56	32.2208
	y=9.13534x-12.7707(r=0.964024)	3865.8*	250.629
S9 mix 存在下	y=0.0282857X+0.899999(r=0.942857)	675.252	44.761
	y=6.47779x-8.60556(r=0.982709)	26058.3*	1657.3

S値：対象となったD_{20}値のうち, 相関係数 r が大きく, 陰性対照群を含む群数 n が多いものほどより妥当性が高いとする考えに基づく指標
*：D_{20}値の算出に用いた最高用量の10倍以上となり, 対象外のものであった。

結論および参考事項

4－クロロフェノールのチャイニーズハムスター肺由来の線維芽細胞株（CHL/IU）を用いた *in vitro* における染色体異常試験を実施した結果，短時間処理法 S9 mix 非存在および存在下ともに，数的異常細胞（倍数体）の用量依存的，かつ有意な増加が認められた。また，構造異常細胞の有意な増加も認められた。

したがって，本実験条件下では，4－クロロフェノールの CHL/IU 細胞に対する染色体異常誘発性は陽性と判定した。短時間処理法において陽性結果が得られたため，連続処理法による試験は行わなかった。本被験物質のD_{20}値は，構造異常に関しては S9 mix 非存在下で 0.59 mg/mL，数的異常に関しては S9 mix 非存在および存在下でそれぞれ 0.48 および 0.68 mg/mL であった。本試験結果は，CHL/IU 細胞において染色体異常を有する細胞の出現頻度が 5%以上 10%未満を疑陽性，10%以上を陽性とする生物学的判断基準[5]からみると，構造異常に関しては陽性，数的異常に関しては疑陽性と判断されるものであった。

4－クロロフェノールの変異原性については，すでに CHL/IU 細胞を用いた染色体異常試験で陽性[6]との報告があり，詳細は構造異常が短時間処理法 S9 mix 非存在および存在下並びに連続処理法48時間処理でそれぞれ最高 5.0，6.0 および 9.0 %の出現頻度で認められ，倍数体については短時間処理法 S9 mix 非存在下で最高 10.0%の出現頻度で認められており，今回の試験結果はこれに類似していた。また，*Salmonella typhimurium* を用いた復帰突然変異試験では陰性[7]および陽性[8]の異なる結果が報告されている。

4－クロロフェノールの異性体である2－クロロフェノールについては，*S. typhimurium* を用いた復帰突然変異試験で陰性[7]，3－クロロフェノールは，同じく復帰突然変異試験で陰性[7]および陽性[8]の報告がある。

4－クロロフェノールのその他の類縁化合物については，2,3－ジクロロフェノールは，*S. typhimurium* を用いた復帰突然変異試験で陰性[7]，2,4－ジクロロフェノールは，マウスリンホーマ L5187Y 細胞を用いた突然変異試験および CHO 細胞を用いた姉妹染色分体交換試験で陽性[9]，CHL/IU 細胞を用いた染色体異常試験で疑陽性[10]，CHO 細胞を用いた染色体異常試験[9]および V79 細胞を用いた6－チオグアニン（6TG)抵抗性突然変異試験[11]でともに陰性と報告され，発ガン性に関してマウスおよびラットで陰性[9]と報告されている。2,5－ジクロロフェノールは，*S. typhimurium* を用いた復帰突然変異試験で陰性[7]，2,6－ジクロロフェノール

は，復帰突然変異試験[7]，6TG 抵抗性突然変異試験[11] および酵母を用いた遺伝子突然変異試験[12] でいずれも陰性と報告され，3,4－ジクロロフェノールについても復帰突然変異試験で陰性[7] と報告されている。2,3,4－トリクロロフェノール，2,3,5－トリクロロフェノール，2,3,6－トリクロロフェノールは，CHL/IU 細胞を用いた染色体異常試験でいずれも陽性[13]，2,4,5－トリクロロフェノールは，復帰突然変異試験で陰性[7] と陽性[8] の報告があり，CHL/IU 細胞を用いた染色体異常試験で陽性[14]，6TG 抵抗性突然変異試験[11] および酵母を用いた遺伝子突然変異試験[12] ではともに陰性と報告されている。2,4,6－トリクロロフェノールは，復帰突然変異試験で陰性[7] と陽性[8] の報告があり，また，V79細胞を用いた染色体異常試験[15] および CHL/IU 細胞を用いた染色体異常試験[16] で陽性，V79 細胞を用いた 6TG 抵抗性突然変異試験では陰性[11, 15] と報告されている。また，3,4,5－トリクロロフェノールは，CHL/IU 細胞を用いた染色体異常試験で疑陽性[17] と報告されている。さらに，4－クロロ－3－メチルフェノールおよび4－クロロ－2－メチルフェノールは，ともに復帰突然変異試験で陰性[8] と報告されている。

4－クロロフェノールおよびその類縁化合物の多くは，*in vitro* において染色体異常誘発性を有するものと考えられる。

参考文献

1) Ishidate, M. Jr. and Odashima, S. (1977). Chromosome tests with 134 componuds on Chinese hamster cells *in vitro*, a screening for chemical carcinogens. *Mutation Research*, **48**, 337-354.

2) Matsuoka, A. Hayashi, M. and Ishidate, M. Jr. (1979). Chromosomal aberration test on 29 chemicals combined with S9 mix *in vitro*. *Mutation Research*, **66**, 277-290.

3) 日本環境変異原学会・哺乳動物試験分科会編，“化学物質による染色体異常アトラス” 朝倉書店，東京，1988，pp. 16-37.

4) 厚生省生活衛生局企画課生活化学安全対策室　監修，“化審法毒性試験法の解説　改定版” 化学工業日報社，東京，1992，pp. 51-52.

5) 石館　基 監修，“改定増補 染色体異常試験データ集” エル・アイ・シー，東京，1987，p. 19.

6) 祖父尼俊雄 監修, “染色体異常試験データ集 改定 1998 年版” エル・アイ・シー, 東京, 1999, pp.132-133.

7) Haworth, S., Lawler, T., Mortelmans, K., Speck, W. and Zeiger, E. (1983). *Salmonella* mutagenicity test results for 250 chemicals. *Environmental Mutagenesis*, **5**(Supplement 1), 3-142.

8) Strobel, K. and Grummt, T. (1987). Aliphatic and aromatic halocarbons as potential mutagens in drinking water. *Toxicological and Environmental chemistry*, **14**, 143-156.

9) Zeiger, E., Haseman, J.K., Shelby, M.D., Margolin, B.H. and Tennant, R.W. (1990). Evaluation of four *in vitro* genetic toxicity tests for predicting rodent, carcinogenicity : Confirmation of earlier results with 41 additional chemicals. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, **16**(Supplement 18), 1-14.

10) 祖父尼俊雄 監修, “染色体異常試験データ集 改定 1998 年版” エル・アイ・シー, 東京, 1999, pp.175-176.

11) Jansson, K. and Jansson, V. (1986). Inability of chlorophenols to induce 6-thioguanine-resistant mutations in V79 chinese hamster cells. *Mutation Research*, **171**, 165-168.

12) Nestmann, E.R. and Lee, E.G.-H. (1983). Mutagenicity of constituents of pulp and paper mill effluent in growing cells of *Saccharomyces cerevisiae*. *Mutation Research*, **119**, 273-280.

13) 祖父尼俊雄 監修, “染色体異常試験データ集 改定 1998 年版” エル・アイ・シー, 東京, 1999, pp.508-513.

14) 祖父尼俊雄 監修, “染色体異常試験データ集 改定 1998 年版” エル・アイ・シー, 東京, 1999, p.513.

15) Jansson, K. and Jansson, V. (1992). Genotoxicity of 2,4,6-trichlorophenol in V79 chinese hamster cells. *Mutation Research* , **280**, 175-179.

16) 祖父尼俊雄 監修, “染色体異常試験データ集 改定 1998 年版” エル・アイ・シー, 東京, 1999, p.514.

17) 祖父尼俊雄 監修, “染色体異常試験データ集 改定 1998 年版” エル・アイ・シー, 東京, 1999, pp.514-515.

表1　　4－クロロフェノールの染色体異常試験結果（短時間処理法：S9 mix 非存在下）

被験物質の用量（μg/mL）	染色体構造異常の細胞数（%） 観察細胞数	染色分体切断	染色分体交換	染色体切断	染色体交換	その他	総異常細胞数	ギャップの出現数（%）	染色体の数的異常の細胞数（%） 観察細胞数	倍数体	その他（核内倍加）	総異常細胞数	細胞増殖率（%）
陰性対照（生理食塩液）	100	1	1	0	0	0	1	1	100	1	0	1	
	100	1	0	0	1	0	2	1	100	0	0	0	
0	200	2(1.0)	1(0.5)	0(0)	1(0.5)	0(0)	3(1.5)	2(1.0)	200	1(0.5)	0(0)	1(0.5)	100.0
50	100	2	0	0	0	0	2	1	100	0	0	0	
	100	2	0	0	0	0	2	0	100	3	0	3	
	200	4(2.0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	4(2.0)	1(0.5)	200	3(1.5)	0(0)	3(1.5)	100.5
100	100	0	1	0	0	0	1	1	100	6	0	6	
	100	1	2	0	0	0	3	1	100	7	0	7	
	200	1(0.5)	3(1.5)	0(0)	0(0)	0(0)	4(2.0)	2(1.0)	200	13(6.5)	0(0)	13(6.5)**	98.5
200	100	2	4	0	0	0	6	1	100	7	0	7	
	100	1	2	1	1	0	4	0	100	9	0	9	
	200	3(1.5)	6(3.0)	1(0.5)	1(0.5)	0(0)	10(5.0)	1(0.5)	200	16(8.0)	0(0)	16(8.0)**	82.5
300	100	2	11	0	0	0	11	1	100	0	0	0	
	100	1	12	1	0	0	13	0	100	1	0	1	
	200	3(1.5)	23(11.5)	1(0.5)	0(0)	0(0)	24(12.0)**	1(0.5)	200	1(0.5)	0(0)	1(0.5)	54.5
400#	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	8.5
陽性対照（MNNG）	100	30	87	0	0	0	92	4	100	0	0	0	
	100	28	86	0	1	0	91	3	100	0	0	0	
2.5	200	58(29.0)	173(86.5)	0(0)	1(0.5)	0(0)	183(91.5)**	7(3.5)	200	0(0)	0(0)	0(0)	--

#：細胞毒性のため，観察可能な分裂中期像なし．
MNNG：1-Methyl-3-nitro-1-nitrosoguanidine.　　**：p<0.01.

表2　　4－クロロフェノールの染色体異常試験結果（短時間処理法：S9 mix 存在下）

被験物質の用量（μg/mL）	染色体構造異常の細胞数（%）							ギャップの出現数（%）	染色体の数的異常の細胞数（%）				細胞増殖率（%）
	観察細胞数	染色分体切断	染色分体交換	染色体切断	染色体交換	その他	総異常細胞数		観察細胞数	倍数体	その他（核内倍加）	総異常細胞数	
陰性対照（生理食塩液）	100	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	
	100	0	0	0	2	0	2	0	100	0	0	0	
0	200	0(0)	0(0)	0(0)	2(1.0)	0(0)	2(1.0)	0(0)	200	0(0)	0(0)	0(0)	100.0
50	100	3	11	1	0	0	11	0	100	2	1	3	
	100	5	12	0	0	0	12	0	100	3	0	3	
	200	8(4.0)	23(11.5)	1(0.5)	0(0)	0(0)	23(11.5)**	0(0)	200	5(2.5)	1(0.5)	6(3.0)	86.0
100	100	2	9	3	0	0	10	0	100	3	3	6	
	100	2	8	0	0	0	9	0	100	1	2	3	
	200	4(2.0)	17(8.5)	3(1.5)	0(0)	0(0)	19(9.5)**	0(0)	200	4(2.0)	5(2.5)	9(4.5)**	81.5
200	100	3	7	0	0	0	8	0	100	1	6	7	
	100	2	6	1	0	0	6	0	100	0	5	5	
	200	5(2.5)	13(6.5)	1(0.5)	0(0)	0(0)	14(7.0)**	0(0)	200	1(0.5)	11(5.5)	12(6.0)**	85.5
300#	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	28.0
400#	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	7.0
陽性対照（B[a]P）	100	6	48	0	0	0	49	0	100	0	0	0	
	100	5	39	0	0	0	40	0	100	1	0	1	
10	200	11(5.5)	87(43.5)	0(0)	0(0)	0(0)	89(44.5)**	0(0)	200	1(0.5)	0(0)	1(0.5)	--

#：細胞毒性のため，観察可能な分裂中期像なし．
B[a]P：3,4-Benzo[a]pyrene.　　**：$p<0.01$.

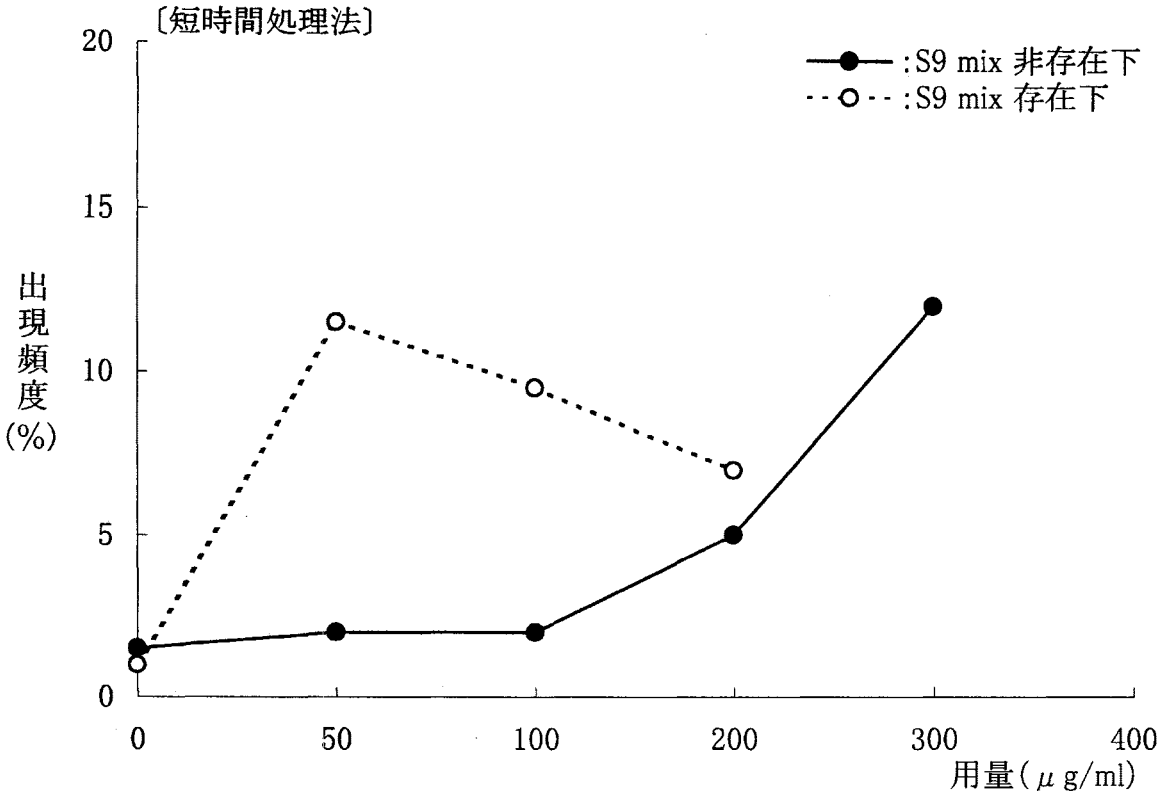


図 1　構造異常を有する細胞の出現頻度

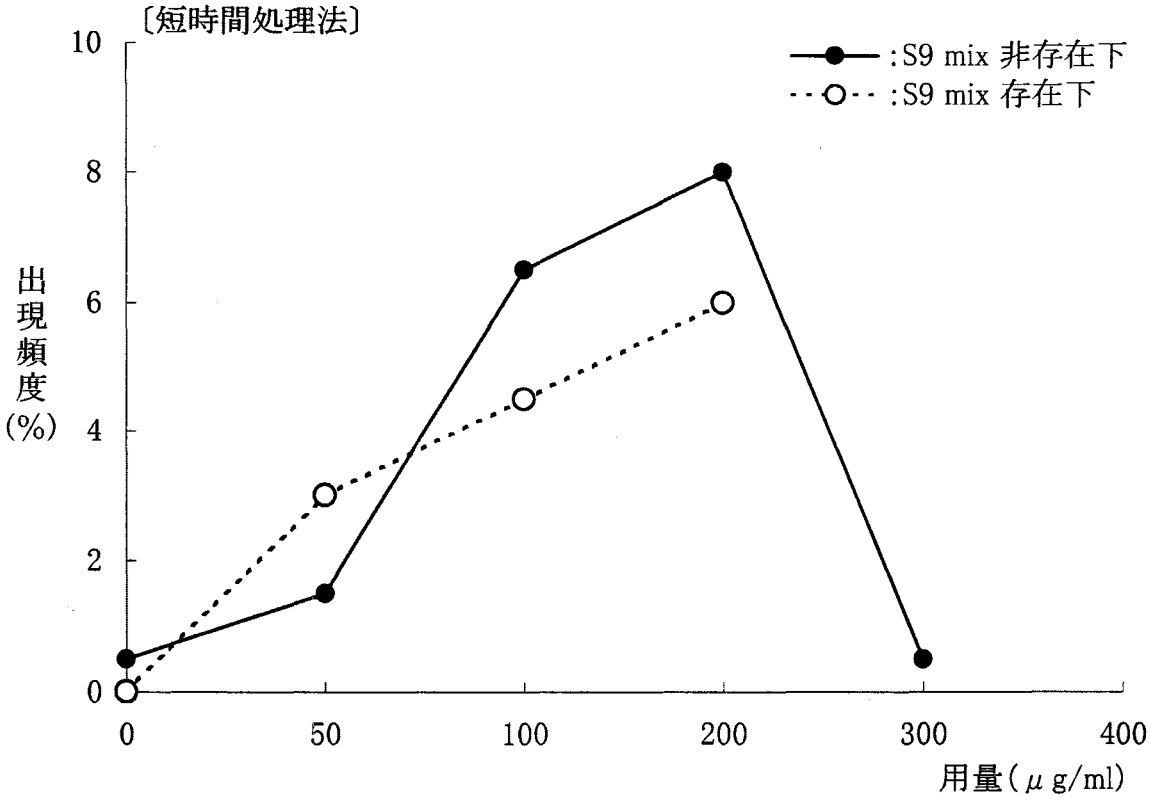


図 2　数的異常を有する細胞の出現頻度