

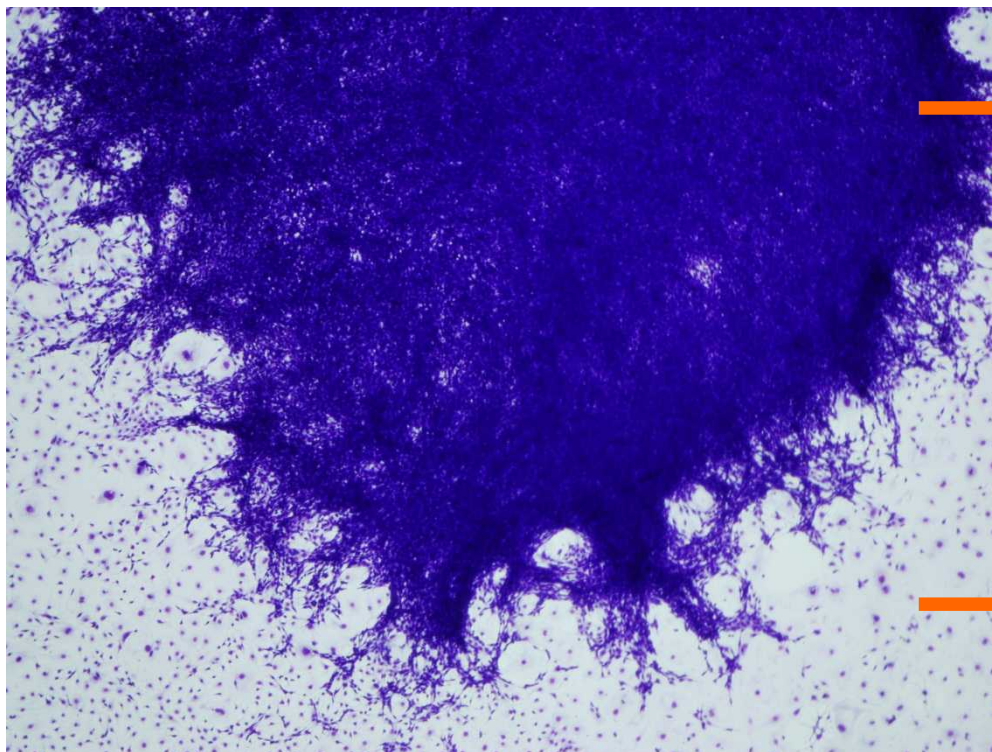
発がん性検索のための  
Bhas 42細胞(v-Ha-ras導入BALB/c 3T3クローン)  
を用いた形質転換試験の概要

佐々木澄志、山影康次、田中憲穂  
(一財)食品薬品安全センター-秦野研究所

## 本日の説明概要

1. Bhas 42細胞について
2. 形質転換試験の方法
3. 98物質による発がん性予測評価
4. バリデーション試験の結果
5. Bhas 42細胞形質転換試験はどのように利用されるか？

## Bhas 42細胞の形質転換巣の形態



### 形質転換巣

塩基性染色  
紡錘状  
互いに交差  
多層  
浸潤

### 正常細胞

単層  
接触阻止

## 親株のBALB/c 3T3細胞を用いた2段階形質転換試験

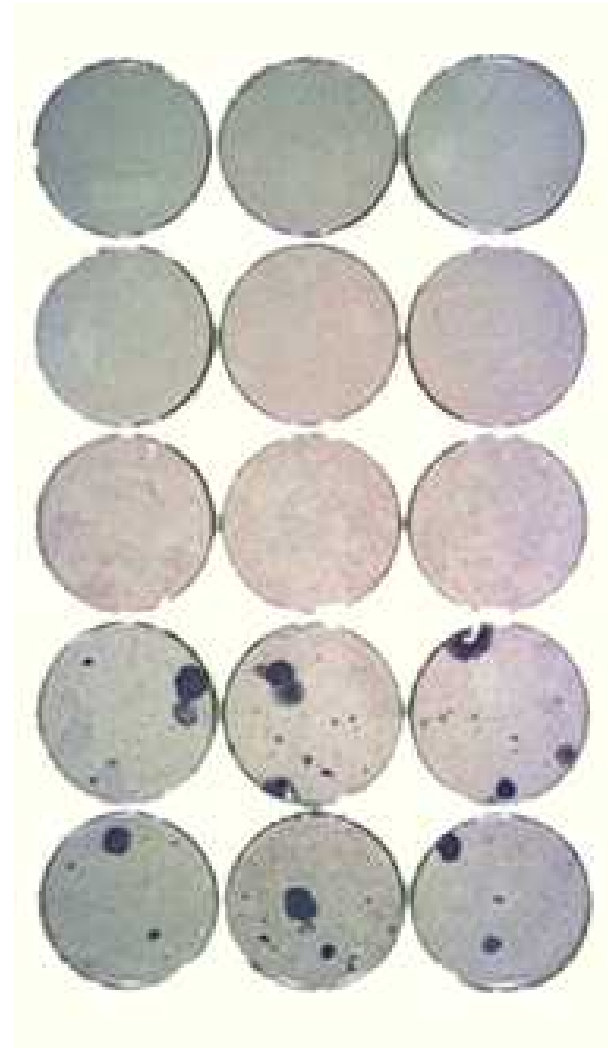
DMSO + DMSO

MCA 0.5  $\mu\text{g}/\text{ml}$  + DMSO

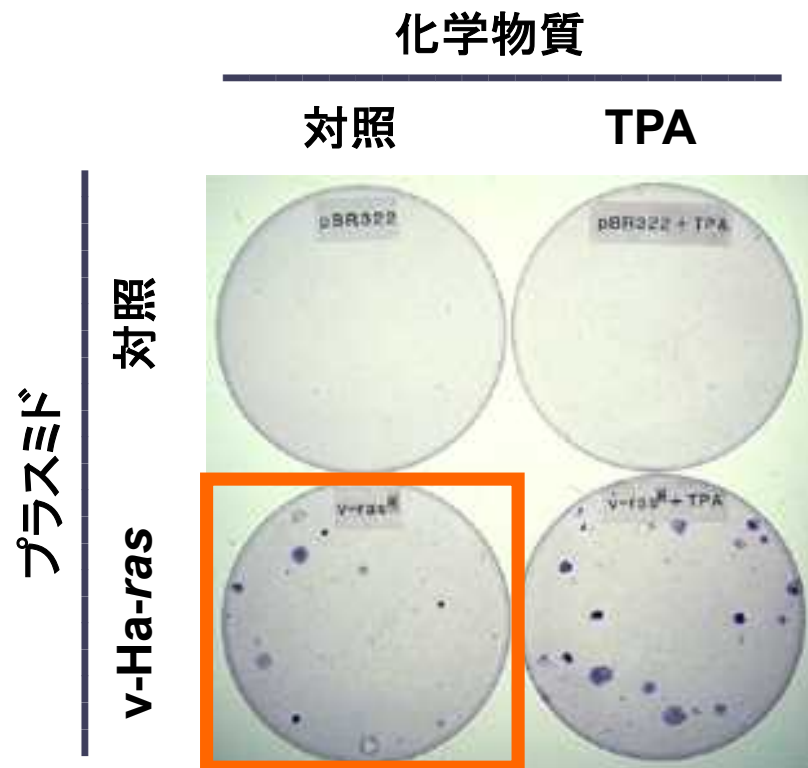
DMSO + TPA 100  $\text{ng}/\text{ml}$

MCA 0.5  $\mu\text{g}/\text{ml}$  + TPA 100  $\text{ng}/\text{ml}$

MCA 3  $\mu\text{g}/\text{ml}$  + DMSO



BALB/c 3T3細胞において化学物質によるイニシエーションは  
v-Ha-ras導入と置き換えることができる



このディッシュにはv-Ha-rasが導入されているにもかかわらず、TPA処理をしない限り形質転換しない細胞（イニシエートされた細胞）が存在することが示唆される。

## Bhas 42細胞の樹立

BALB/c 3T3細胞



v-Ha-*ras*の導入



v-Ha-*ras*を有する細胞のクローニング



正常形態を示すがTPAにより形質転換する  
クローンのスクリーニング



Bhas 42細胞

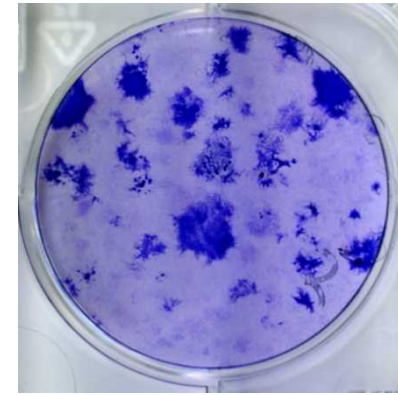
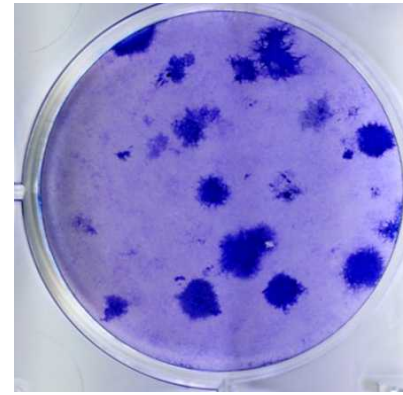
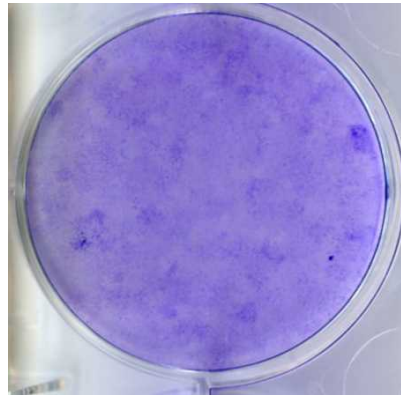
Bhas 42細胞はTPA処理のみで形質転換する

対照

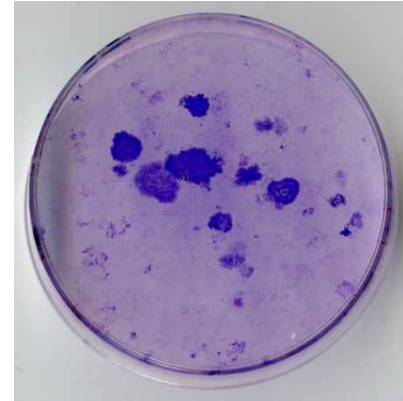
MCA

TPA

Bhas 42



BALB/c 3T3





Bhas 42細胞の形質転換はin vitroでのがん化を再現している



形質転換したBhas 42細胞

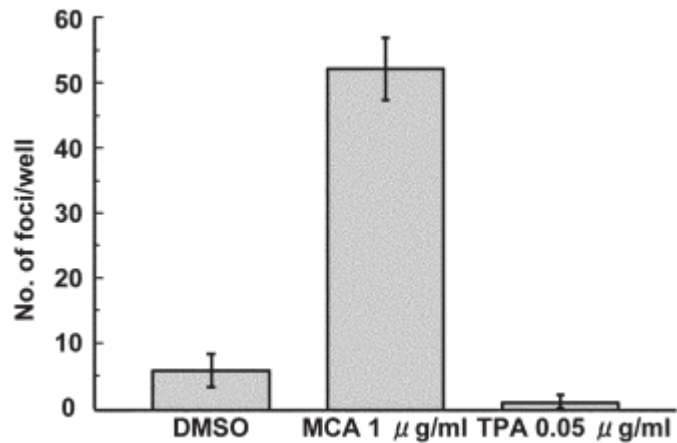
正常Bhas 42細胞

10<sup>6</sup>個を皮下注射し60日後

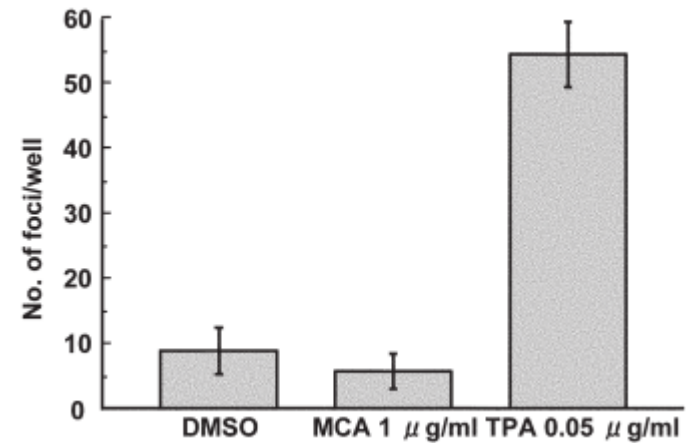


化学物質の処理において、遺伝毒性発がん物質は細胞分裂を必要とし、  
非遺伝毒性発がん物質は細胞間接触を必要とする

MCA: 陽性、TPA: 陰性



MCA: 陰性、TPA: 陽性

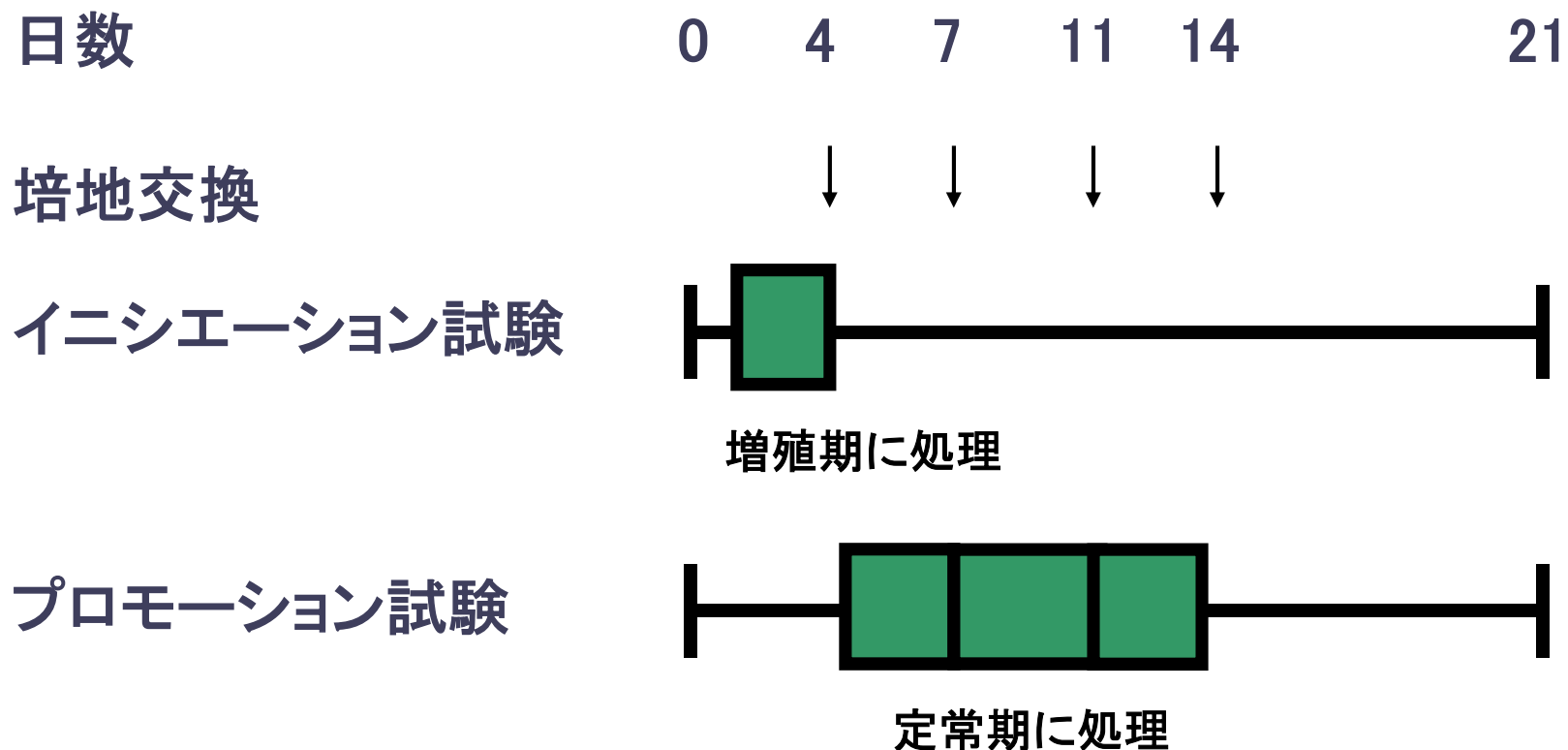


処理

増殖期に3日間

定常期に10日間

## Bhas 42細胞形質転換試験の日程



6ウェルまたは96ウェルを使用。

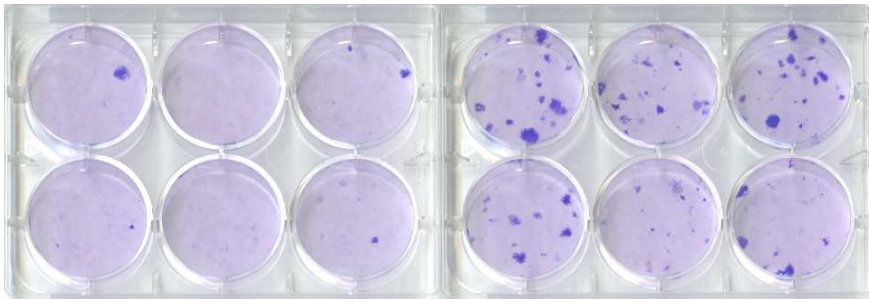
並行して行う細胞増殖試験は播種後7日目に固定・染色。

イニシエーション試験とプロモーション試験のどちらかが陽性の場合、その物質は陽性と判断。

## 6ウェル法と96ウェル法における形質転換率の表し方

対照

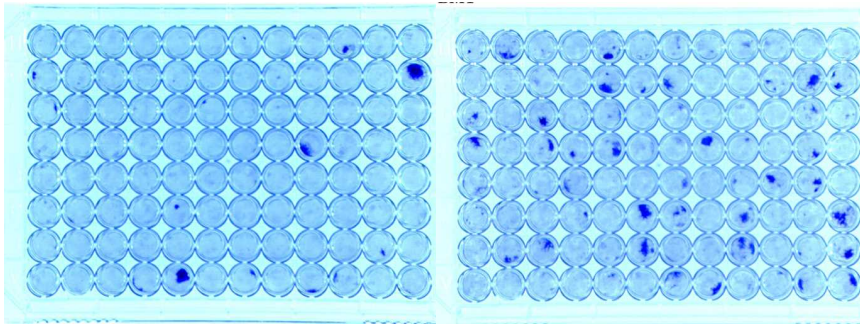
MCA 1  $\mu\text{g}/\text{ml}$



6ウェル法

形質転換巣数／ウェル

例 14個／ウェル



96ウェル法

形質転換巣を持つウェルの数／96ウェル

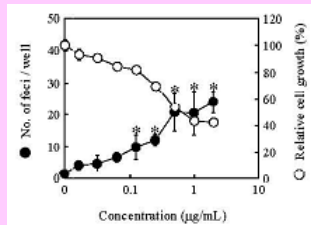
例 52ウェル／96ウェル

# MCAとTPAの処理において、 6ウェル法と96ウェル法では類似の結果が得られる

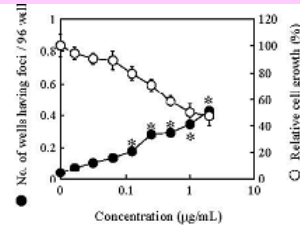
イニシエーション  
試験

MCA

6ウェル法

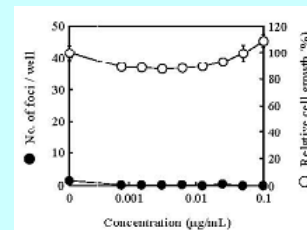


96ウェル法

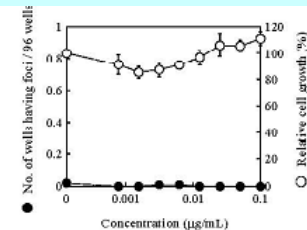


TPA

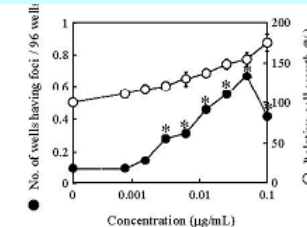
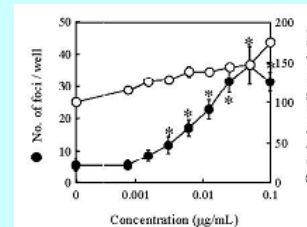
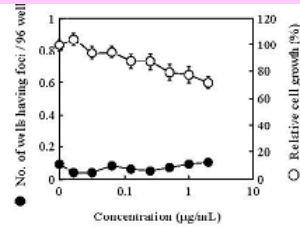
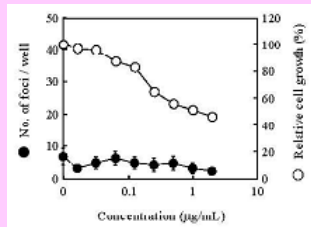
6ウェル法



96ウェル法



プロモーション  
試験



●: 形質転換率、○: 相対細胞増殖率

## 6ウェル法におけるBhas 42細胞形質転換試験の発がん性予測

動物または ヒト	Bhas 42試験	
	陽性	陰性
陽性	38	14
陰性	6	31

98物質を試験

89物質がin vivoデータあり  
52発がん物質  
37非発がん物質

9物質はin vivoデータなし

一致率	78%	=	$(38 + 31) / (38 + 14 + 6 + 31) \times 100$
感受性	73%	=	$38 / (34 + 14) \times 100$
特異性	84%	=	$31 / (6 + 31) \times 100$
+予測性	86%	=	$38 / (38 + 6) \times 100$
-予測性	69%	=	$31 / (14 + 31) \times 100$
偽陽性	16%	=	$6 / (6 + 31) \times 100$
偽陰性	27%	=	$14 / (38 + 14) \times 100$

## Bhas 42細胞形質転換試験とAmes試験の結果比較

### 52発がん物質

物質	Bhas 42試験		Ames	小核試験	DRP31に 記載
	イニシエーション	プロモーション			
2-Acetylaminofluorene	+	+	+	+	+
Benz[a]anthracene	+	+	+,+,+	+	+
2-Amino-3-methylimidazo- [4,5-f]quinoline (IQ)	+	-	+	-	+
5-Azacytidine	+	-	+,+/-		+
Barium chromate	+	-	-	+	+
Benzo[a]pyrene	+	-	+,+	+,+,+	+
Cyclophosphamide	+	-	+,+/-,+/-	-	+
Cyclosporin A	+	-	-	-	+
2,4-Diaminotoluene	+	-	+,+		+
Dibenz[a,h]anthracene	+	-	+,+/-,+		+
Melphalan	+	-	+,+,+,-/+	+	+
3-Methylcholanthrene	+	-	+,+		+
Mitomycin C	+	-	+	+,+,+	+
MNNG	+	-	+,+	+	+
Sterigmatocystin	+	-	+	+	
Thio-TEPA	+	-	+	+	+
Cadmium chloride	-	+	-, -	-	+
Chenodeoxycholic acid	-	+	+/-		
4-Chloro-o-toluidine HCl	-	+	-		+
Cholic acid	-	+	+/-		+
Deoxycholic acid	-	+	+/-	-	
Dichlorvos	-	+	+,+	-	+
Epichlorohydrin	-	+	+,+,+/-		+
D-Limonene	-	+	-, -		-
Lithocholic acid	-	+	-, -		+
Methapyrilene HCl	-	+	-		+

38発がん物質中18物質: Bhas 42細胞形質転換試験で陽性だが、Ames試験では陰性または不明瞭。  
これらの物質は主にプロモーション試験で検出されている。

52発がん物質  
(続き)

物質	Bhas 42試験		Ames	小核試験	DRP31に 記載
	イニシエーション	プロモーション			
Methylarsonic acid	-	+	-	-	
Mezerein	-	+	-,-		+
2-Naphthylamine	+/-	+	+,+,+/-,-,+,+/-	-,+,-,+	
Phorbol 12,13-didecanoate	+	+			+
Quercetin	-	+	+,+,+/-,-,+/-	+,+	+
Sodium arsenate	-	+	-	-	+
Sodium arsenite	+/-	+	-	+	+
Sodium saccharin	-	+	-,-		+
Styrene oxide	-	+	+,+,+/-,-,+/-	-	+
TPA	+/-	+	-		+
o-Toluidine	-	+	+, -	+/-,-	+
Zinc chloride	-	+	+		+
o-Anisidine	-	-	+		+
Benzene	-	-	-	+,+	+
Cobalt sulfate heptahydrate	-	-	+		+
Diethylstilbestrol	-	-	-, -, -, -	+/-,-,+,-	+
Dimethylarsinic acid	-	-	-	+/-	
1,4-Dioxane	-	-	-, -	-	+
Ethyl carbamate (Urethane)	-	-	+/-,-,-	+,+	+
Formaldehyde	-	-	+,+/-,-,+/-	+/-	+
Furylfuramide (AF-2)	-	-	+,+,+		+
Methyl carbamate	-	-	-, -, -	-	+
Nickel (II) chloride	-	-	-	-	+
Nickel monoxide	-	-	-	-	+
Phenobarbital sodium	-	-	-,+/-		+
p-Toluidine	-	-	-		+

38発がん物質中18物質: Bhas 42細胞形質転換試験で陽性だが、Ames試験では陰性または不明瞭。  
これらの物質は主にプロモーション試験で検出されている。



## 37非発がん物質

物質	Bhas 42試験		Ames	小核試験	DRP31に 記載
	イニシエーション	プロモーション			
4-Acetylaminofluorene	-	-	+		+
Acid red 14	-	-	-,-	-	+
Ampicillin sodium salt	-	-	-,-		+
Anthracene	-	-	+, -, +/-		+
L-Ascorbic acid	-	-	+/-,-	+	+
Aspartame	-	-	-	-	
Benzoin	-	-	+/-,-,+/-	-	+
Caffeine	-	-	-,-,-	+	+
ε-Caprolactam	-	-	-,-	-,-	+
2-Chloroethanol	-	-	+,+,-,+/-	-	+
Chromium (Ⅲ) Chloride, anhydrous	-	-	-		+
2,6-Diaminotoluene	-	-	+		+
Diazepam	-	-	-,-		+
N,N-Dimethylformamide	-	-	-,-		+
Eugenol	-	-	-	-,+	+
HC Blue 2	-	-	+		+
Hydrocortisone	-	-			+
D-Mannitol	-	-	-,-	-	+
Methotrexate	-	-	-	+	+
1-Naphthylamine	-	-	+,+,-,+/-	+,+	+
Phenanthrene	-	-	+,+,-,+/-		+
Phenol	-	-	-	+	+
p-Phenylenediamine 2HCl	-	-	+		+
Phthalic anhydride	-	-	-,-		+
Rotenone	-	-	-	+	+
Sodium chloride	-	-	-		+
Sodium nitrite	-	-	+,+	-,+,-,+	+
Sunset yellow FCF	-	-	-	-	
Thiabendazole	-	-	+	+	+
m-Toluidine	-	-	-		+
Triphenyltin hydroxide	-	-	-,-		+
Barium chloride dihydrate	-	+	-,-		+
tert-Butylhydroquinone	-	+	-,-	-	+
8-Hydroxyquinoline	-	+	+,+	-	+
Propyl gallate	+	+	-,-	+/-	+
Sodium fluoride	-	+	-,-	-,+	+
Tetracycline HCl	-	+	-,-		+

31非発がん物質中8物質:  
Bhas 42細胞形質転換試験  
で陰性だが、Ames試験で  
陽性または不明瞭。

## 9発がん性不明物質

物質	Bhas 42試験		Ames	小核試験	DRP31に 記載
	イニシエーション	プロモーション			
Sodium valproate	+	+			
Valproic acid	+	+			
2,3-Diaminotoluene	-	+	+		
2,5-Diaminotoluene 2HCl	-	+			
3,4-Diaminotoluene	-	+	+		
Sodium orthovanadate	-	+		-	+
Capsaicin	-	-		-	
Ethidium bromide	-	-		-	
Salicylic acid	-	-			

Sakai A et al. Mutat Res. (2010) 702:100-122.

# Bhas 42 形質転換試験では Ames試験で陰性の発がん物質を効率よく検出できる

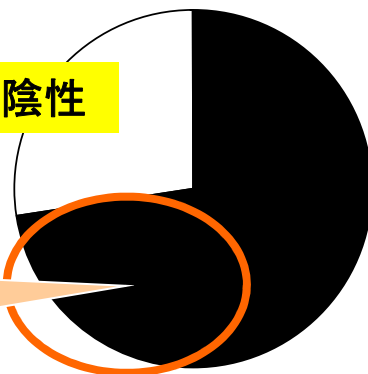
## 52発がん物質

Ames試験で陰性の幾つかの  
発がん物質が陽性

例 methapyrilene HCl  
sodium arsenate

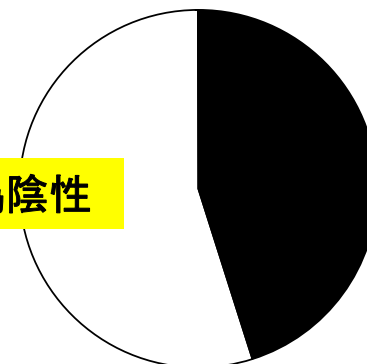
偽陰性

Bhas 42



Ames

偽陰性



■: 陽性

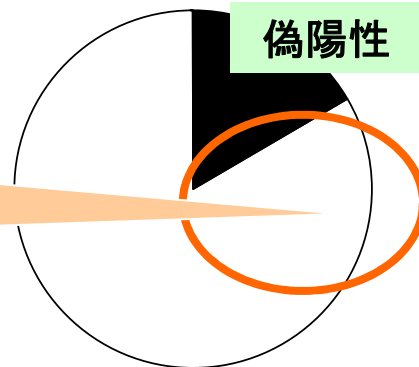
□: 陰性

## 37非発がん物質

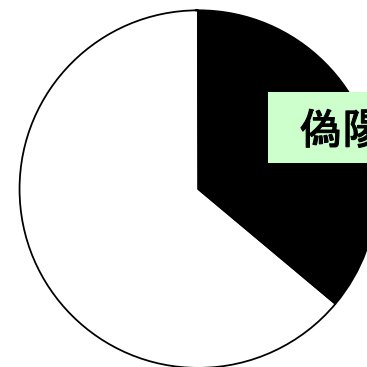
Ames試験で陽性の幾つかの  
非発がん物質が陰性

例 1-naphthylamine  
sodium nitrite

偽陽性

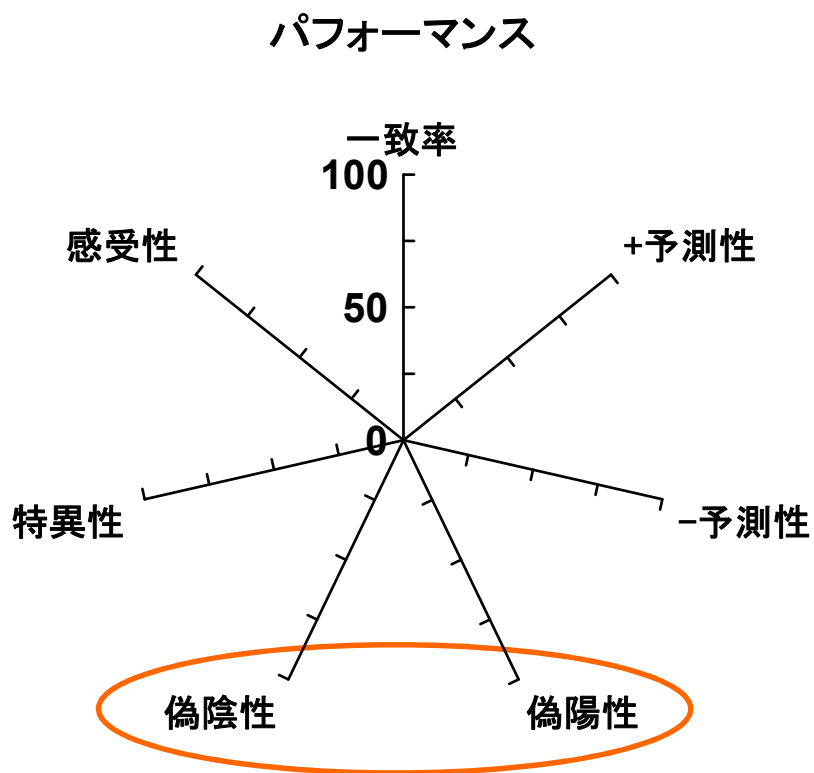


偽陽性

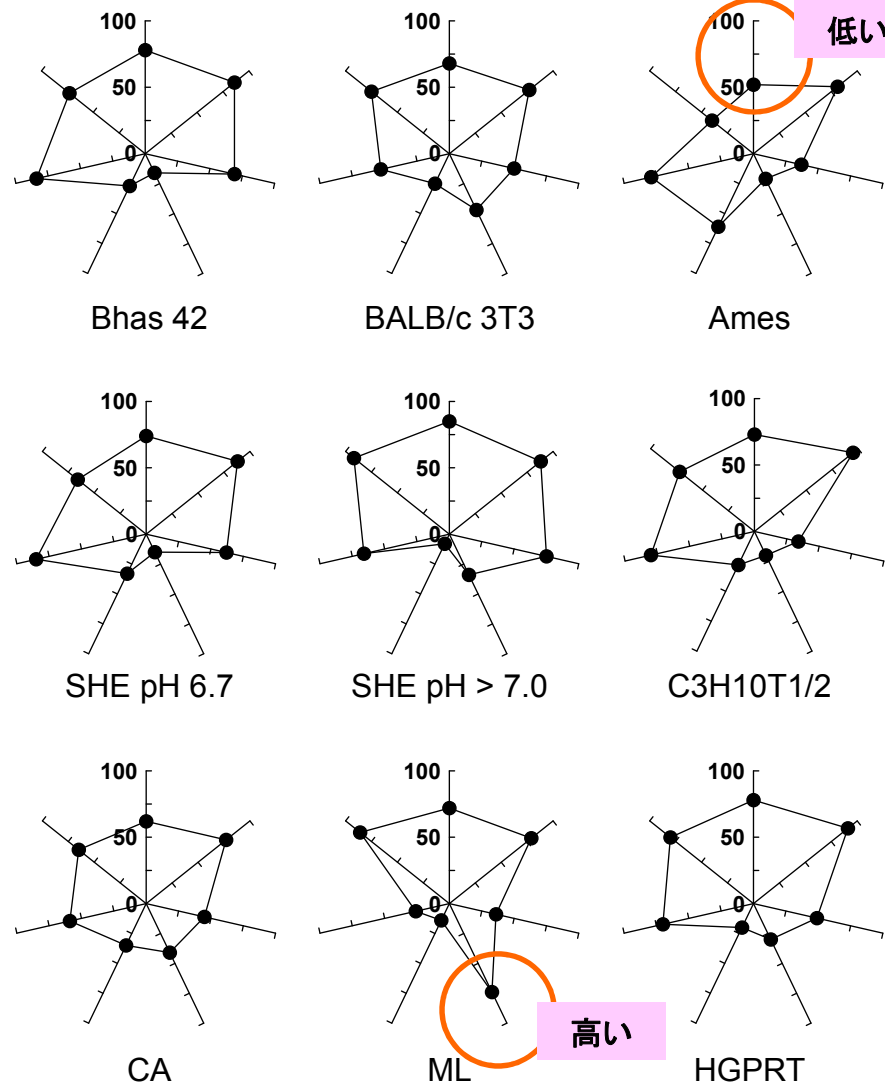


# 発がん性予測に関する各試験のパフォーマンス比較

(Bhas 42以外のデータはすべてDRP31のデータを使用)



この2つの値が低く、他の5つの値が高い場合、理想の試験と言える



## 98物質のBhas 42細胞形質転換試験から得られた結論

1. Bhas 42形質転換試験では多くのAmes試験で陰性または不明瞭な発がん物質を検出することができた。
2. これらの物質は主にプロモーション試験で検出された。
3. Bhas 42形質転換試験のパフォーマンスは、他の発がん物質を検出する短期試験と比べ、バランスのとれた試験である。

## 全バリデーション試験の概要

試験番号	プレート	物質数／ 試験	参加 研究室数	物質数／ 施設
プレバリデーション(技術移転性と正確性を確認)				
1	6ウェル	9	6	3
バリデーション(再現性と関連性を確認)				
2	6ウェル	12	6	3
3(1回目)	96ウェル	7	4	4
3(2回目)	96ウェル	16	3	2

全23物質  
(重複している物質は除く)

## バリデーション試験No. 3(1回目)の結果

施設	2AAF		Anthracene		B[a]P		MCA		Phenanthrene		O-Toluidine		TPA	
	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P
I	+	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+
II	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+
III	+	+	-	-	+	-	+	+/-	-	-	-	-	-	+
IV	+	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+
総合評価	+	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+
In vivo	+		-		+		+		-		+		+	

I: イニシエーション試験、P: プロモーション試験、 はin vivoと一致



## バリデーション試験No. 1~3におけるそれぞれの化学物質の評価

物質	試験1		試験2		試験3		総合 評価	In vivo
	Ini	Pro	Ini	Pro	Ini	Pro		
アルキル化剤								
MNNG	-,+ ,+	-,-,-			+,+	-,-	+	+
芳香族アミン								
2-Acetylaminofluorene			+,+,+	+,+,+	+,+,+,+	-,+ ,+,+	+	+
o-Toluidine			-,+ ,+,+	-,+ ,+,+	-,-,-,-	-,-,-,-	+/-	+
フォルボール								
Phorbol	-,-,-	-,-,+/-			-,-	-,-	-	-
TPA					-,-,-,-	+,+,+,+	+	+
ステロイド								
Lithocholic acid	-,-,-	+,+,+	-,-,-	+,+,+	-,-	+,+	+	+

各シンボルは1施設の結果を表す、Ini: イニシエーション試験、Pro: プロモーション試験、 はin vivoと一致

(続き)

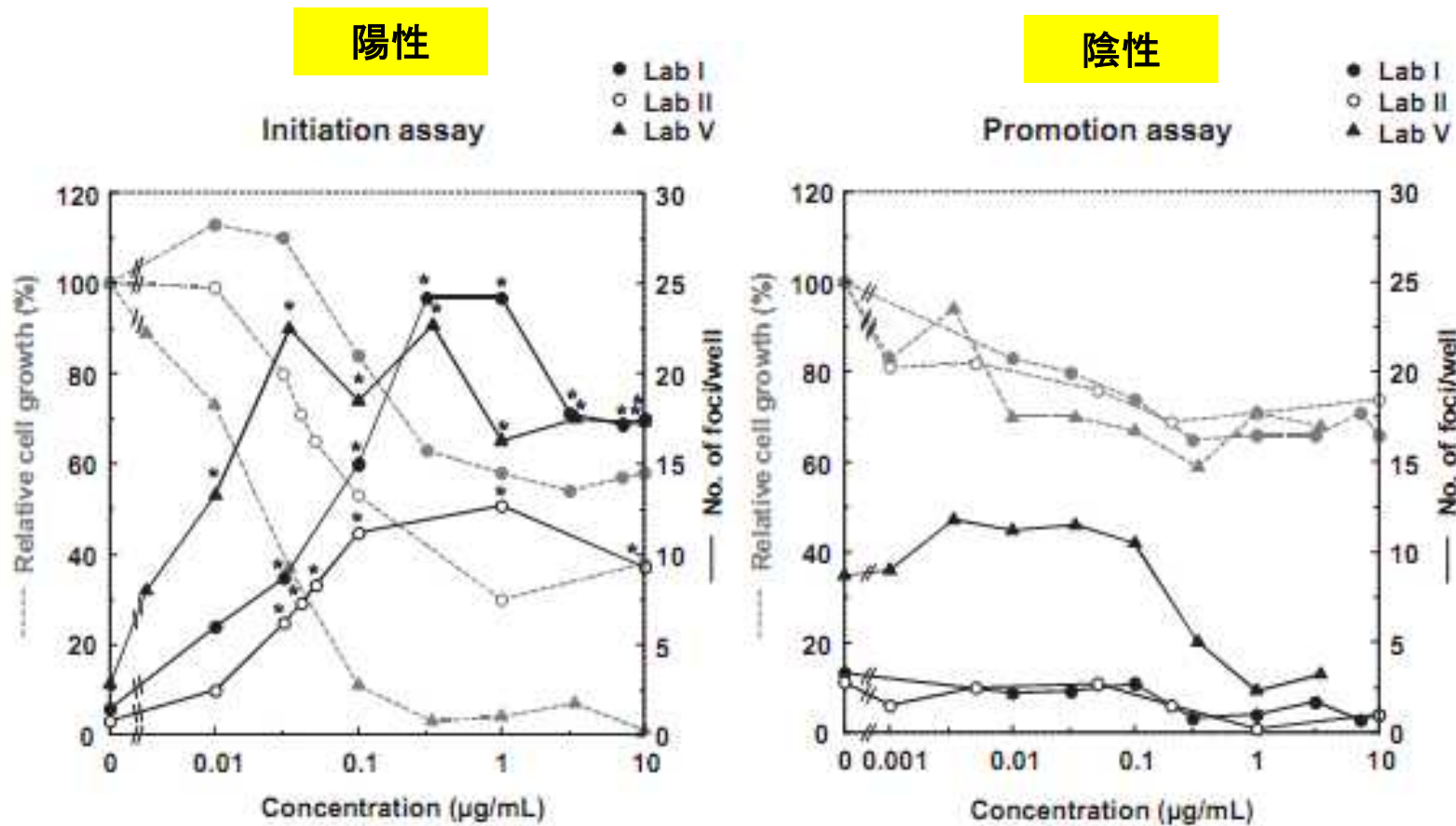
物質	試験1		試験2		試験3		総合 評価	In vivo
	Ini	Pro	Ini	Pro	Ini	Pro		
芳香族炭化水素								
Anthracene	-,-,-	-,-,-	-,-,-	-,-,+	-,-,-,+	-,-,-,-	-	-
Phenanthrene					-,-,-,-	-,-,-,-	-	-
Benz[a]anthracene	+,+,+	-,+ ,+					+	+
Benzo[a]pyrene	+,+,+	-,-,-			+,+,+,+,+,+	-,-,-,-,-,-	+	+
Dibenzo[a,h]anthracene			+,+,+	-,-,-	+,+	-,-	+	+
3-Methylcholanthrene					+,+,+,+	-,-,-,-	+	+
Pyrene	+,+,+	-,+ ,+			+,+	+,+	+	-
抗生物質								
Ampicillin sodium					-,-	-,-	-	-
アルカロイド								
Caffeine			-,-	-,-,-	-,-	-,-	-	-

(続き)

物質	試験1		試験2		試験3		総合 評価	In vivo
	Ini	Pro	Ini	Pro	Ini	Pro		
<b>無機物質</b>								
Cadmium chloride			-,-,-	+,+,+	-,-	+,+	+	+
Sodium arsenite			-,+	+,+,+	-,-	-,-	+/-	+
<b>その他</b>								
L(+)-Ascorbic acid			-,-,-	-,-,-	-,-	-,-	-	-
Eugenol					-,-	-,-	-	-
D(-)-Mannitol			-,-,-	-,-,-	-,-	-,-	-	-
Methapyrilene HCl	-,-,+	+,+,+	-,-,-	+,+,+	-,-	+,+	+	+
Mezerein	-,-,-	+,+,+	-,+/-,-,+/-	+,+,+	+,+	+,+	+	+
ε-Caprolactam (< 5 mM)					-,-	-,-	-	-
ε-Caprolactam (> 10 mM)					+,+	-,-	+	-

Tanaka N et al. AATEX. (2009) 14:831-848.  
Sakai A et al. Mutat Res. (2011) 725:57-77.

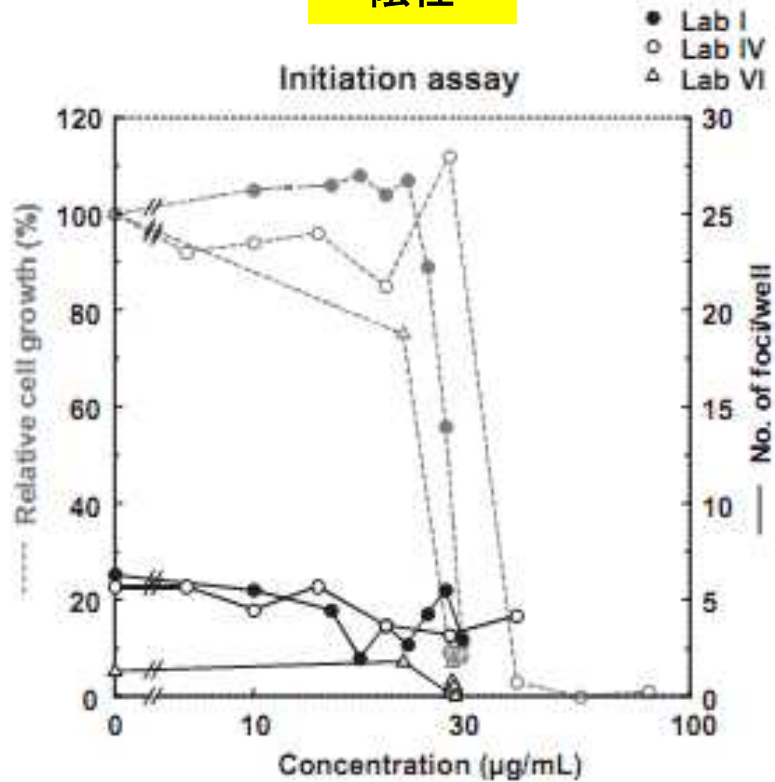
# バリデーション試験No. 2でのdibenz[a,h]anthraceneの結果(例)



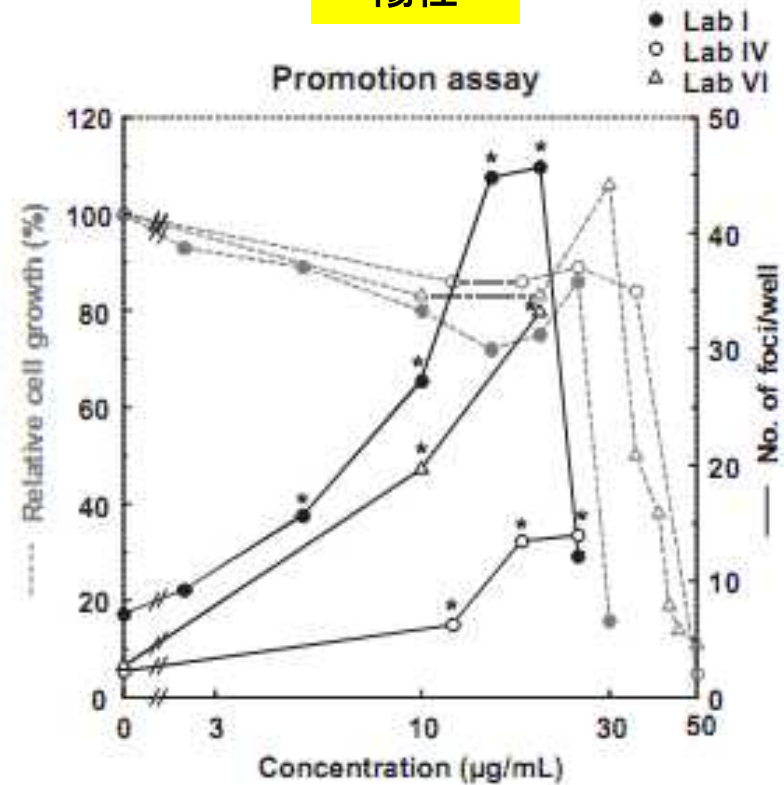
Sakai A et al. Mutat Res. (2011) 725:57-77.

# バリデーション試験No. 2でのlithocholic acidの結果(例)

陰性



陽性

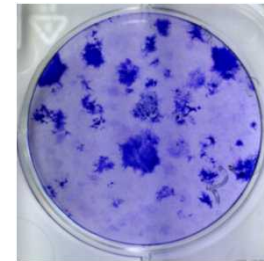


# 発がん物質検索に関する Bhas 42細胞形質転換試験の有用性(1)

## 動物を用いない低コスト短期試験



動物(ラット、マウス)



Bhas 42細胞

---

動物数	150~300	0
試験期間	2~3年(一生涯試験)	<1ヶ月
費用	>200万ドル	<1万ドル

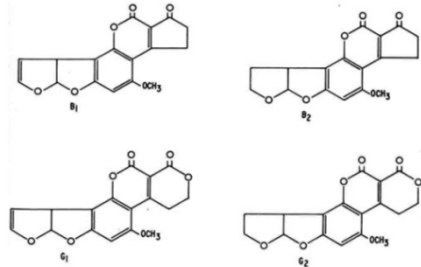
---

発がん物質検索に関する  
Bhas 42細胞形質転換試験の有用性(2)

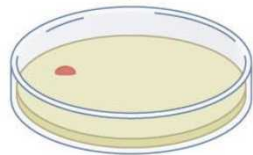
1. 6ウェル、96ウェルのどちらも用いることができる。
2. 96ウェル法は、ハイスループット化が可能である。
3. Bhas 42細胞形質転換試験は、2つのプロトコールを使い分けることで、遺伝毒性発がん物質と非遺伝毒性発がん物質を分別して検出できる。



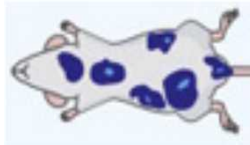
# Bhas 42細胞形質転換試験はどのように利用されるか？



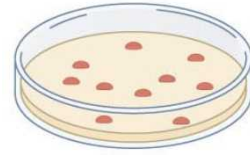
構造活性相関などの情報から発がん性が予測される物質のスクリーニング



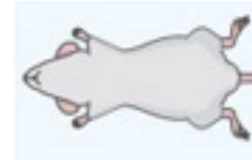
だが



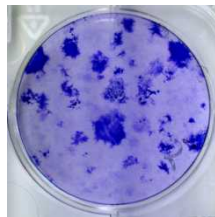
非遺伝毒性発がん物質のスクリーニング



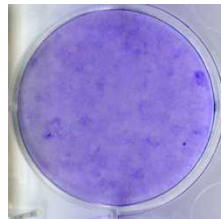
だが



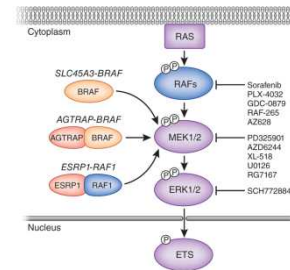
遺伝毒性非発がん物質のスクリーニング



TPA + 物質X



抗発がん物質のスクリーニング



発がんメカニズム研究