

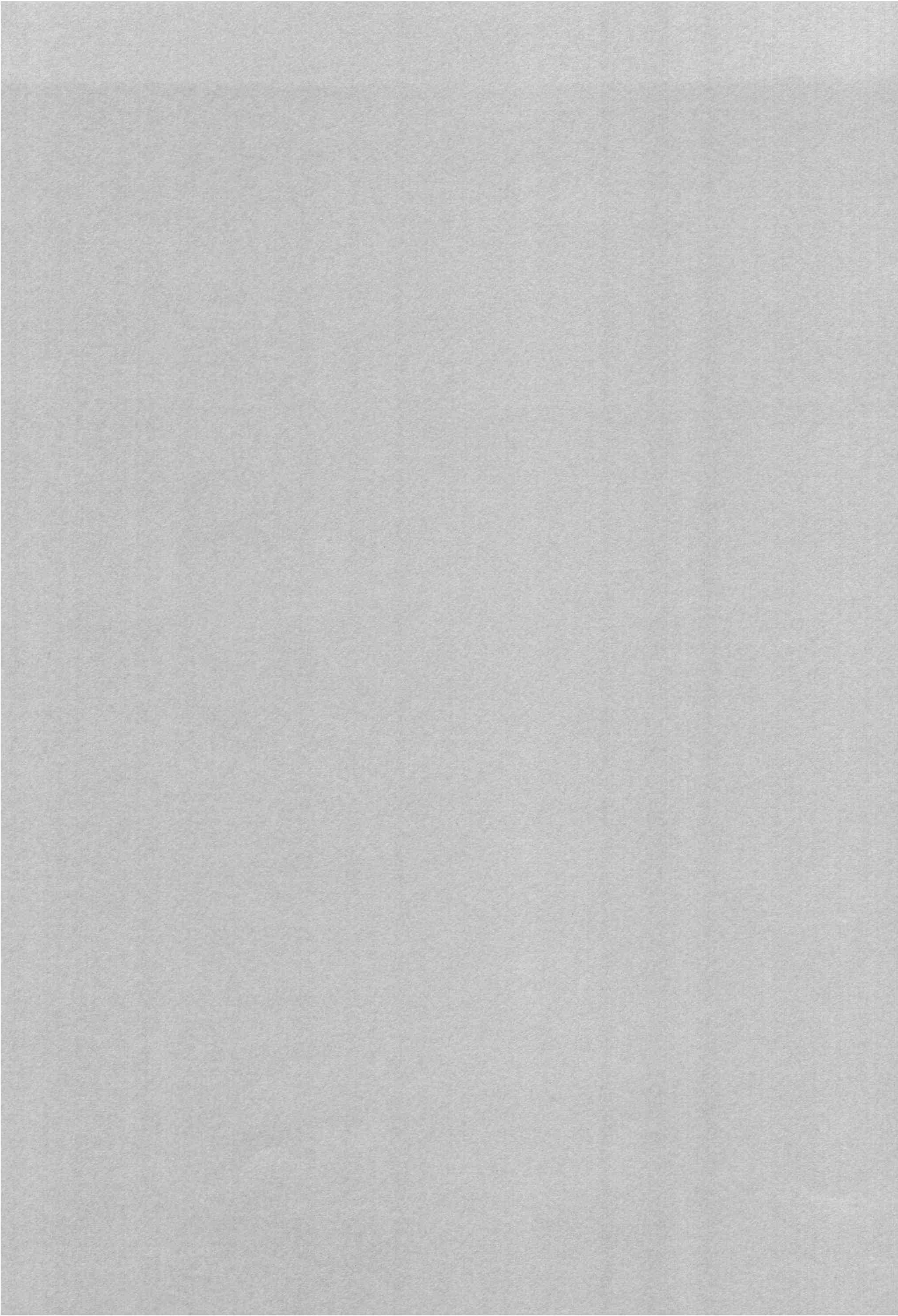
生徒の研究論文

岡山県立岡山朝日高等学校

—岡山朝日研究紀要第22号—

別冊付録

2001年3月



環境ストレスが生物の生存に与える影響

岡山県立岡山朝日高等学校 生物部

1年C組 川端 洋輔
指導教諭 高橋 和成

要 旨

近年、地球温暖化や酸性雨などによる環境破壊が問題視されている。そこで、このような環境ストレスは生物の生存にどのような影響を及ぼすのだろうと思い、細胞性粘菌を利用して実験をした。細胞性粘菌は単細胞の時期と多細胞の時期とを繰り返すという生物進化の過程を現すことから、今日地球上に生存している生物の進化の方法を探る手がかりにもなるのではないかと考えた。*Dictyostereum firmibasis*と*Dictyostereum purpureum*という2種類に対して、餌の量、培養孢子数、温度、pH、光などの環境ストレスを与えて実験した。

その結果、形成される孢子体の数とサイズは、餌の量に比例していた。また、アメーバの増殖と孢子体の形成には温度が深く関わっていた。pHはアルカリより弱酸性で生育がよかった。さらに、光に対しての反応は*D. purpureum*の方がより敏感に反応したが、光の性質は関係しなかった。また、2種を混合培養すると、孢子体のサイズが小さくなり、孢子体数が増加した。

細胞性粘菌は、温度などの無機的な環境条件や、生物相互間の作用を受けて、生存していることがわかった。原始的な生物にも生存戦略があったのだ。また、高温に弱い*D. firmibasis*は地球温暖化が生態系に及ぼす影響の度合いを知るための環境指標生物にすることができるのではないかと考えた。

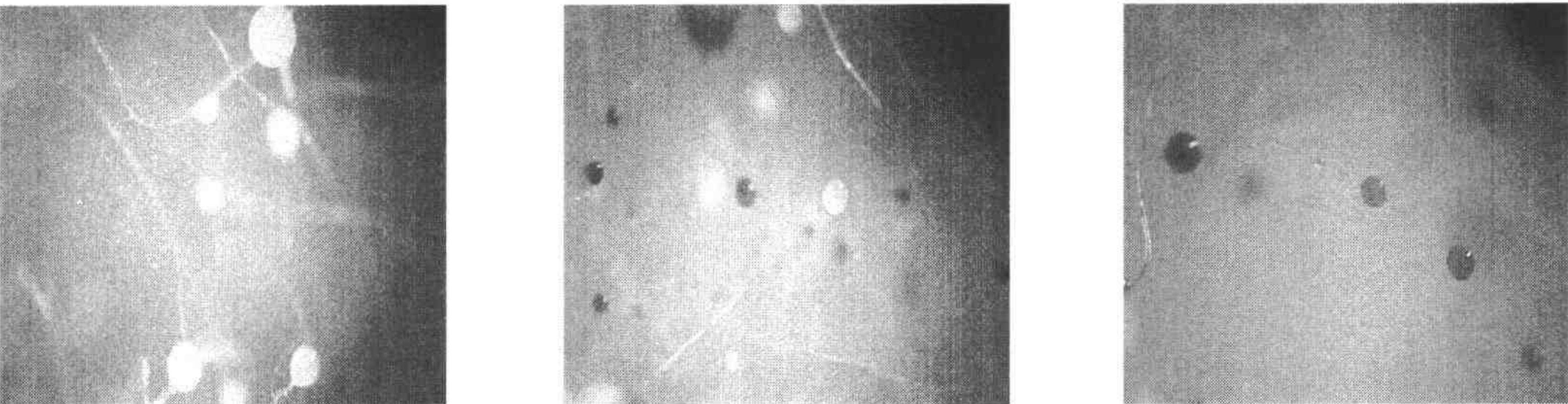
動機と目的

近年、水質汚濁や酸性雨などによって多くの種類の生物が絶滅の危機に瀕している。こうした水の変質は、昔から人々に親しまれていたメダカまでもが、絶滅危惧種に指定されるに至った。僕は、多様な生物が秩序をもって共存する自然を維持しなければならないと考えている。環境変化は、大型の動植物だけではなく、土壌中の微生物にも影響を与えていると思う。生態系を保護していく上で、細胞性粘菌のように目に見えない微生物を調べることで、より高等な生物の保護にいずれ役立ってくると思った。

細胞性粘菌は、進化の過程でとらえると単細胞生物と多細胞生物の中間的な生物で、進化の証拠となる生物である。なぜならその生活環の中で、アメーバで増殖し同質なアメーバが集合して、小さなキノコのような孢子体を形成するが、その時、孢子になる細胞と柄になる細胞に分化するからである。したがって、環境ストレスが生物の生存や進化に与えた影響をとらえることができるのではないかと考えた。

以前からの生物部の活動などで、表1のように各地から細胞性粘菌が分離されている（高橋199

1, 宮脇2000)。こうした細胞性粘菌の分布は様々な環境ストレスの影響を受けて分布していると考えられる。そこで今回は、共存する地域としない地域がある 2 種の細胞性粘菌に絞って、環境ストレスと生育の関係を調べた。



D. firmibasis (単独培養) (シロタマホコリカビ) *D. fir*+*D. pur* (混合培養) *D. purpureum* (単独培養) (ムラサキタマホコリカビ)

写真 1. 分離した細胞性粘菌の子実体

Dictyostelium purpureum(ムラサキタマホコリカビ)は広範囲に生育し、*Dictyostelium firmibasis*(シロタマホコリカビ)と共存する場所があるが、*D. firmibasis*は岡山県南部や屋久島には生育していなかった。この 2 種は大きさがほとんど同じで、胞子塊の色が互いに異なるので識別しやすい特徴がある。そこで実験に利用した。環境ストレスとしては、無機的环境条件と生物相互が影響し合う生物的環境がある。本研究では、次のような仮説を考えて、実験を始めた。

- 仮説：
- ①餌の量や培養胞子数によって胞子体数が変化する。
 - ②細胞性粘菌の生育に土壌 pH，温度，光が影響を与える。
 - ③細胞性粘菌の種間競争が生育に影響を与える。

表 1. 細胞性粘菌の分布調査の結果

調査地 植生 土壌pH 標高m	北海道	新穂高		岡山県					校庭		屋久島	出現頻度
	落葉樹	針葉樹	落葉樹	ブナ林	落葉樹	常緑樹	アカマツ	アカマツ	草地	樹下	常緑樹	
		4.7	5	6.5	7	5.3	5	7	4.5	4.5		
		2000	1400	800	600	60	100	200	20	20	1000	%
<i>Polysphondylium pallidum</i>						*	*	*	*	*		45
<i>Polysphondylium violaceum</i>		*			*			*	*	*	*	55
<i>Dictyostelium purpureum</i>	*	*		*	*		*		*	*	*	73
<i>Dictyostelium firmibasis</i>	*	*	*	*								36
<i>Dictyosterium minutum</i>				*	*	*	*		*			45
<i>Dictyosterium macrocephalum</i>						*			*	*		27
<i>Dictyosterium aureo-stipes</i>				*	*			*				27
<i>Dictyosterium breferdianum</i>						*						9
<i>Dictyosterium microsporum</i>				*								9
出現種数	2	3	1	5	4	4	3	3	5	4	2	

1. 基本的な培養方法

1) 細胞性粘菌

写真 1 にシロタマホコリカビとムラサキタマホコリカビの子実体を示した。実験には燐酸緩衝

液と寒天の入ったP培地（表2）を用いた。300mlの培地を500mlのフラスコに入れ、125℃、1.2気圧で15分間オートクレーブして滅菌した。その後、プラスチック滅菌シャーレにクリーンベンチ内で分注した。培地面がやや乾く3日後から実験に使用した。細胞性粘菌の植え継ぎには、孢子塊を滅菌した竹串で取り、大腸菌シロップといっしょに表5のSM培地に移植した。

2) 大腸菌

大腸菌の培地は表4の肉汁培地（NB寒天培地）を利用した。液体培養では寒天を入れないで培地を調整し、100mlフラスコに50mlずつ分注して、125℃、1.2気圧で15分間オートクレーブして滅菌した。大腸菌は、白金耳でNB寒天培地面に少量の菌体を塗り広げて、継代培養した。液体培養は、寒天培地から少量の菌を培地に植え継いで、37℃で1昼夜振とう培養した（120回転／分）。増殖した大腸菌を遠心分離（×10000g、5分）して集めた後、1mlの滅菌水に懸濁・浮遊させてつくった。この大腸菌シロップを細胞性粘菌のアメーバの餌として利用した。

表2. P培地（無栄養寒天培地）

粉末寒天	6g
燐酸緩衝液	3ml
精製水	300ml

300mlフラスコで滅菌後、滅菌シャーレ12枚に分注する。
燐酸緩衝液は滅菌しておき、分注前に加える。

表3. 燐酸緩衝液（保存液100ml）

$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	7.96g
Na_2HPO_4 （無水）	6.96g

50mlずつ滅菌後、室温で保存する。pH=6.4

表4. 大腸菌の培地（NB寒天培地）

Nutrient Broth (DIFCO)	2.4g
粉末寒天	6.0g
精製水	300ml

300mlフラスコで滅菌後、滅菌シャーレ12枚に分注する。

表5. SM培地

AN保存液	10ml
燐酸緩衝液	3ml
粉末寒天	6g
精製水	300ml

滅菌した寒天液に、AN保存液と燐酸緩衝液を混ぜる。
滅菌シャーレ12枚に分注する。

表6. AN保存液（300ml）

Difco Bacto-tryptone	6g
Difco Yeast Extract	1.8g
グルコース	5.4g
精製水	300ml

100mlずつ保存瓶に入れ、滅菌後、冷蔵保存する。

2. 大腸菌濃度と孢子体の数とサイズの関係

1) 方法

大腸菌シロップの濃度を滅菌水で10分の1倍，100分の1倍に希釈し，それぞれの大腸菌シロップのスポットを作り，孢子懸濁液をパスツールピペットで1滴滴下して，22℃で培養した。

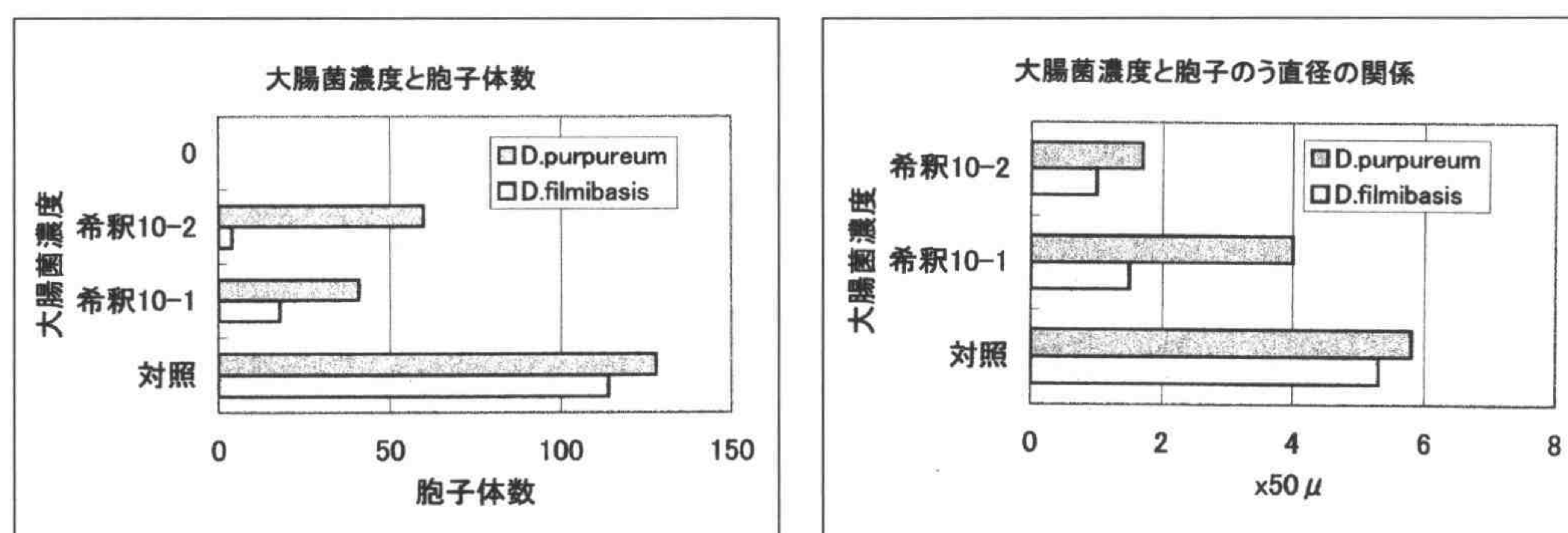
グラフ1のAは大腸菌濃度と培養後の孢子体数の関係を示している。Bは大腸菌濃度と培養後の孢子のう直径の関係を示している。

2) 結果

大腸菌濃度が高いほど，直径の大きな孢子のうが数多く形成された。

3) 考察

形成される孢子体の数と孢子のう直径は餌の量に比例すると考えた。



A. 大腸菌濃度と数の関係

B. 大腸菌濃度と孢子のう直径の関係

グラフ1. 餌の量に対する孢子体数と孢子のう直径の関係

3. 培養孢子数と孢子体の数とサイズの関係

1) 方法

孢子懸濁液の濃度を滅菌水で5分の1倍，25分の1倍に希釈し，大腸菌シロップのスポットを作り，それぞれの孢子懸濁液をパスツールピペットで1滴点下して，22℃で培養した。

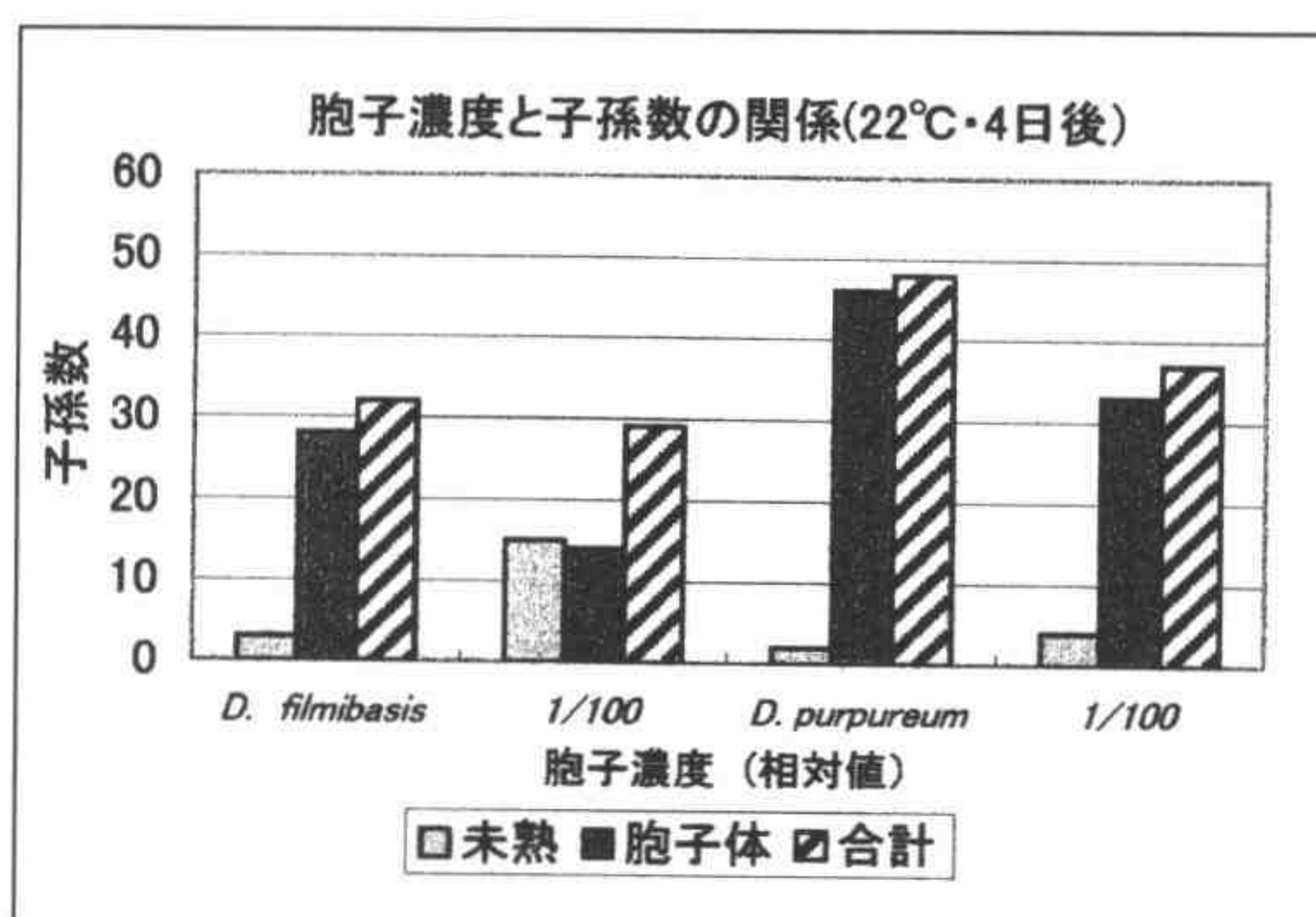
グラフ2のAは孢子懸濁液の濃度と孢子体の数の関係を示している。Bは孢子懸濁液の濃度と孢子のうの直径の関係を示している。

2) 結果

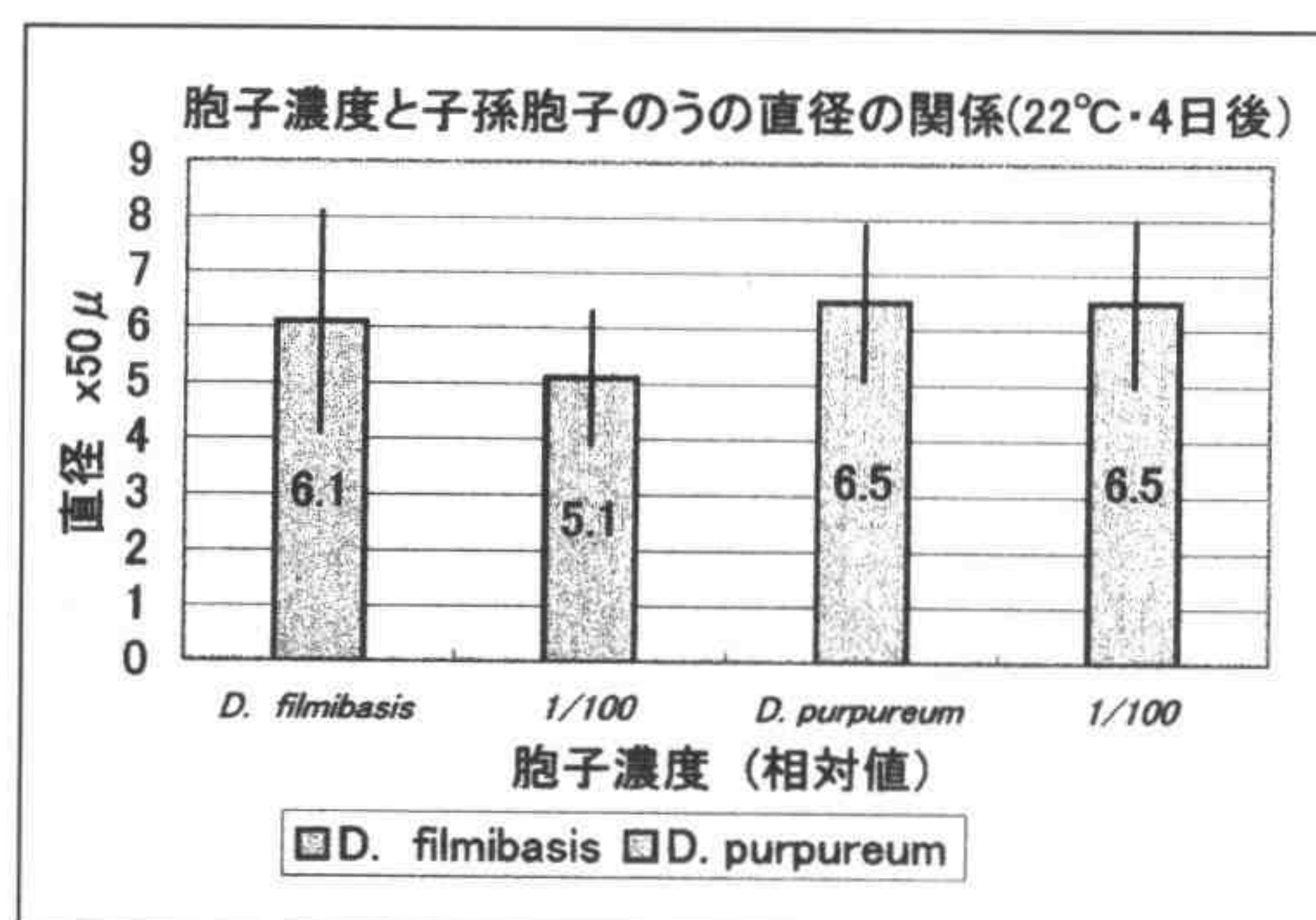
培養孢子数に関わらず，だいたい同じ数の孢子体が形成された。培養孢子数が多いのと比べて，培養孢子数が少ないと，成熟体を形成するまでにやや時間がかかった。しかし，成熟体の直径の有意差はなかった。

3) 考察

培養孢子数が少ないと成長が遅くなるのは，一定量のアメーバの増殖までに時間がかかっているからであると思われる。そこで，最終的には培養孢子数と培養後の孢子の数は関係ないと考えられる。



A. 培養孢子数と子孫数の関係



B. 培養孢子数と孢子の直径の関係

グラフ 2. 孢子濃度と子孫の関係

4. アメーバの増殖に及ぼす温度の影響

1) 方法

図1のように、帯状に塗り広げた大腸菌シロップの一端に孢子懸濁液をパスツールピペットで1滴滴下し、その1滴に含まれる孢子から発芽・増殖するアメーバの増殖距離を15℃、18℃、22℃、26℃の場合に分けて、6日間記録した。

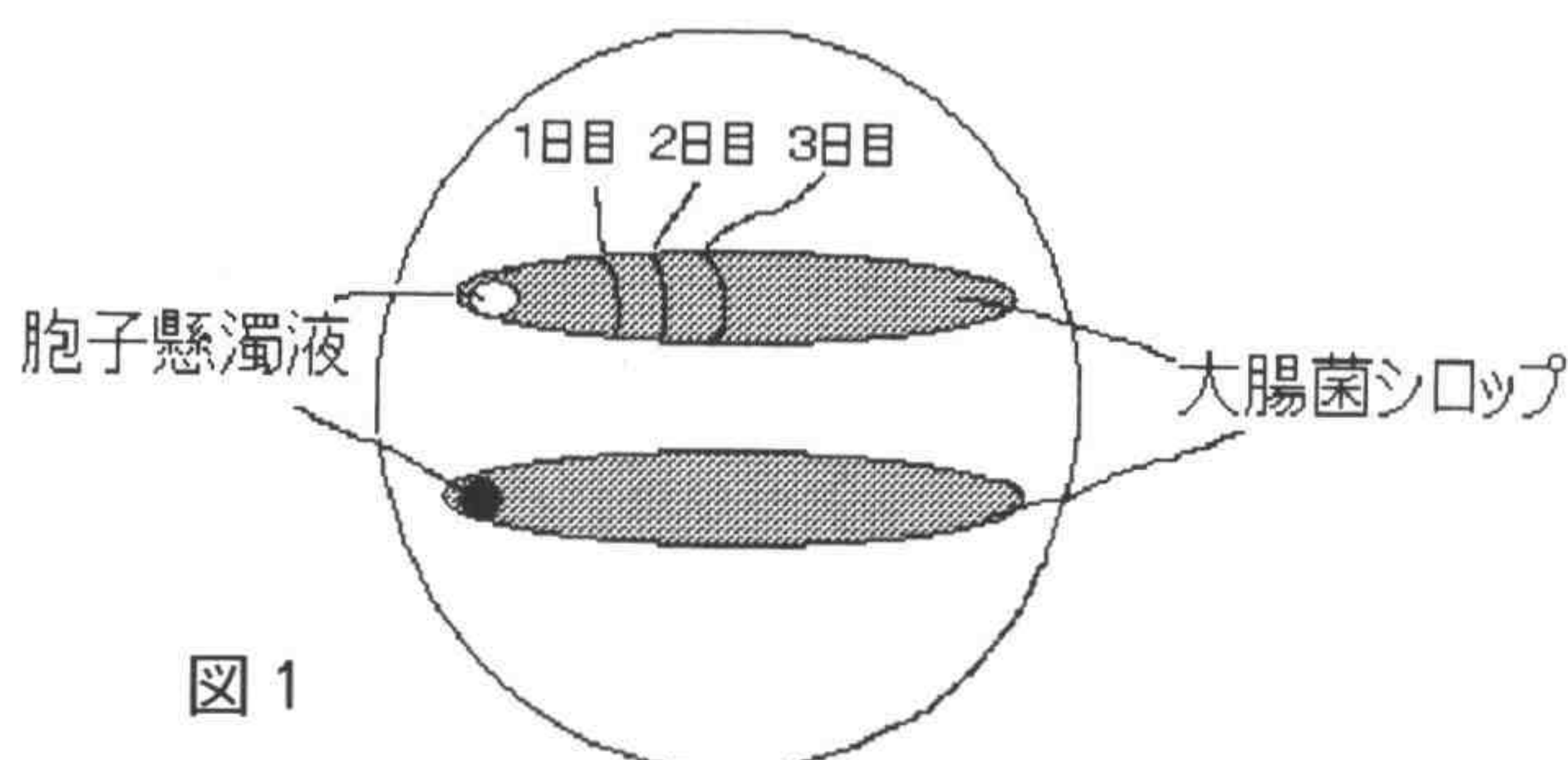


図 1

2) 結果

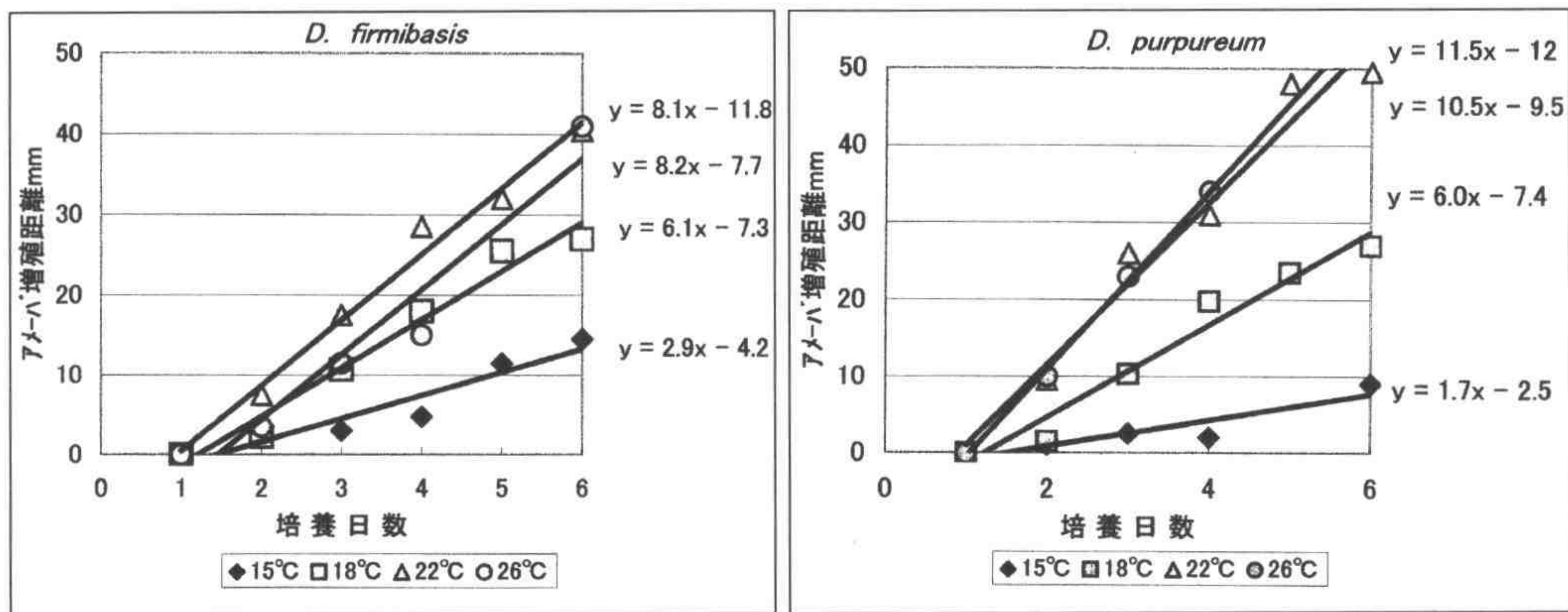
グラフ 3 は 1 日目から 6 日目までのアメーバの増殖距離を示し、増殖速度を 1 次式で近似した。

グラフの一次式の傾きをみると、シロタマホコリカビは、15℃のとき約 3 mm/日、22℃のときが最速の約 8.2 mm/日、26℃になるとやや頭落ちして約 8.1 mm/日の速さだった。一方、ムラサキタマホコリカビは 15℃のとき約 2 mm/日、26℃のときが最速の約 12 mm/日だった。

どちらの種も温度が高いほど増殖速度が速いことが分かった。しかし、18℃を境に低温のときはシロタマホコリカビ、高温のときはムラサキタマホコリカビが速かった。特に、ムラサキタマホコリカビは 15℃のとき増殖が強く抑制された。

3) 考察

シロタマホコリカビは低温に対して適応力があり、ムラサキタマホコリカビは高温に対して適応力があると考えた。



A. シロタマホコリカビ

B. ムラサキタマホコリカビ

グラフ 3. 培養温度とアメーバ増殖速度の関係

5. アメーバの増殖に及ぼすpHの影響

1) 方法

pH=5.5, pH=7.0, pH=8.0のそれぞれの培地に、大腸菌シロップを幅約0.5cmのへらで帯状に塗り広げ、その一端に孢子懸濁液をパスツールピペットで1滴滴下し、22°Cで培養した。孢子懸濁液1滴に含まれる孢子から発芽・増殖するアメーバの増殖距離を5日間記録した。

グラフ4は1日目から5日目までのアメーバの増殖距離を示し、増殖速度を一次式で近似した。

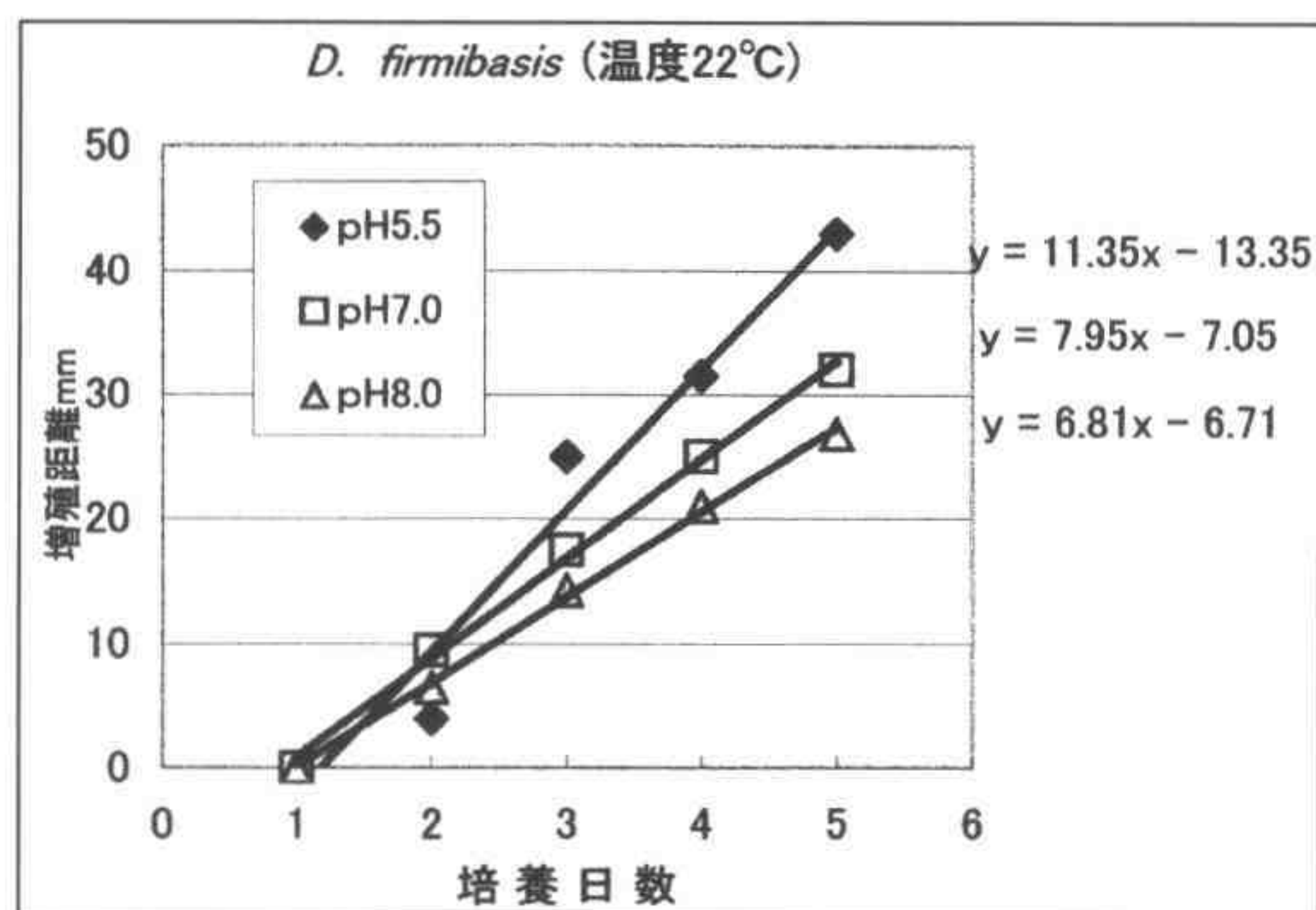
2) 結果

グラフの一次式の傾きをみると、シロタマホコリカビは、pH=5.5のとき約11mm/日、pH=8.0のとき約7mm/日の速さだった。一方、ムラサキタマホコリカビは、pH=5.5のとき約9mm/日、pH=8.0のとき約7mm/日の速さだった。

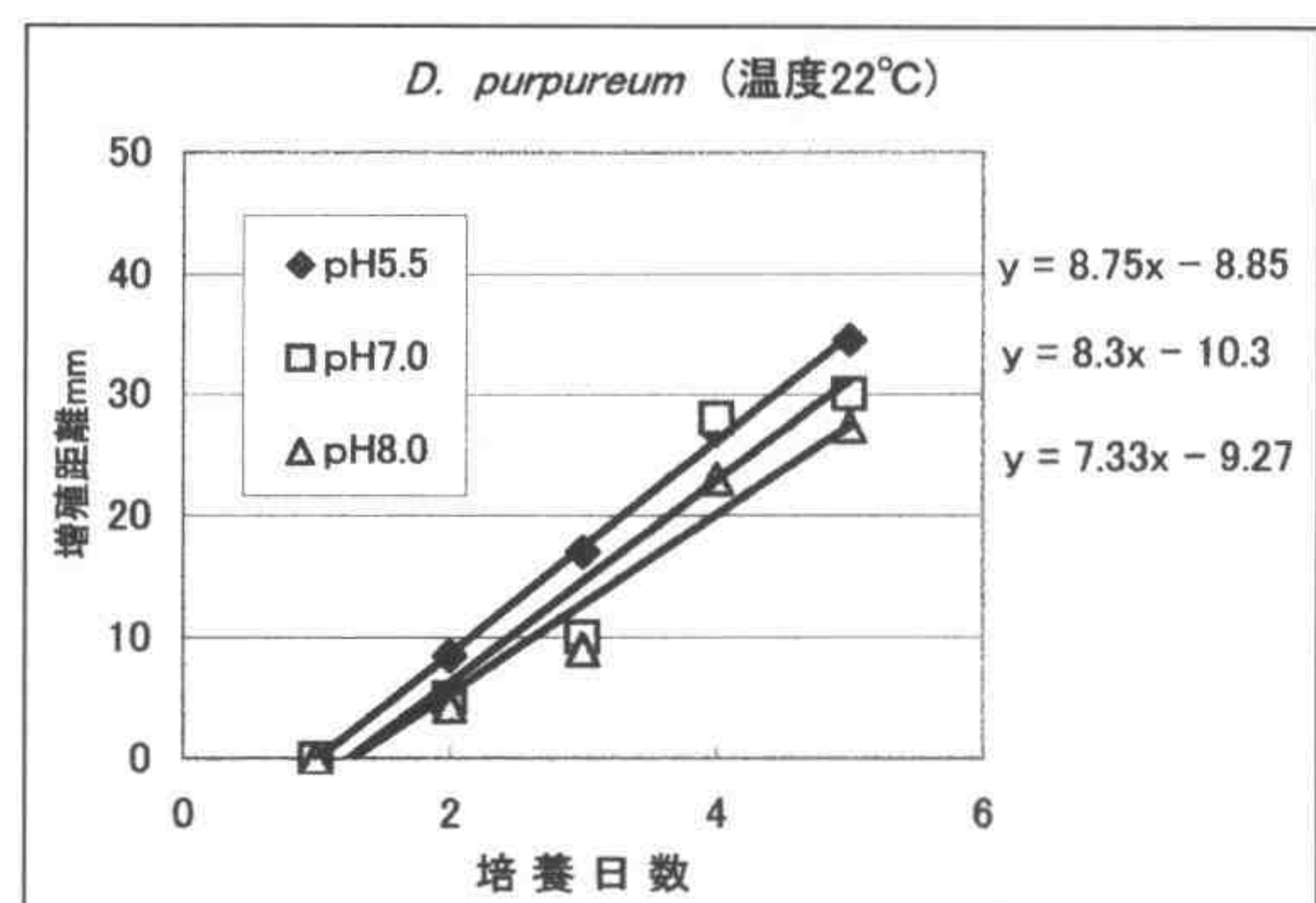
どちらの種もpHが低いときに増殖速度が速くなる傾向がみられた。特にシロタマホコリカビの方はpH=5.5のとき増殖速度が速かった。

3) 考察

森林土壌は弱酸性であるため、培地pHが低い方がアメーバの増殖に適していると考えられた。



A. シロタマホコリカビ



B. ムラサキタマホコリカビ

グラフ4. 培地pHとアメーバ増殖速度の関係

6. 胞子体の形成に及ぼす温度の影響

1) 方法

大腸菌シロップのスポットを作り、そこに胞子懸濁液をパスツールピペットで1滴滴下し、15℃、18℃、21℃、24℃、27℃で4日間培養した。

この実験では、単独培養と混合培養を行った。同じエリア内にこの2種の細胞性粘菌が生息している場合、胞子体形成にどのような影響を及ぼすのか調べるためには混合培養が必要と考えた。

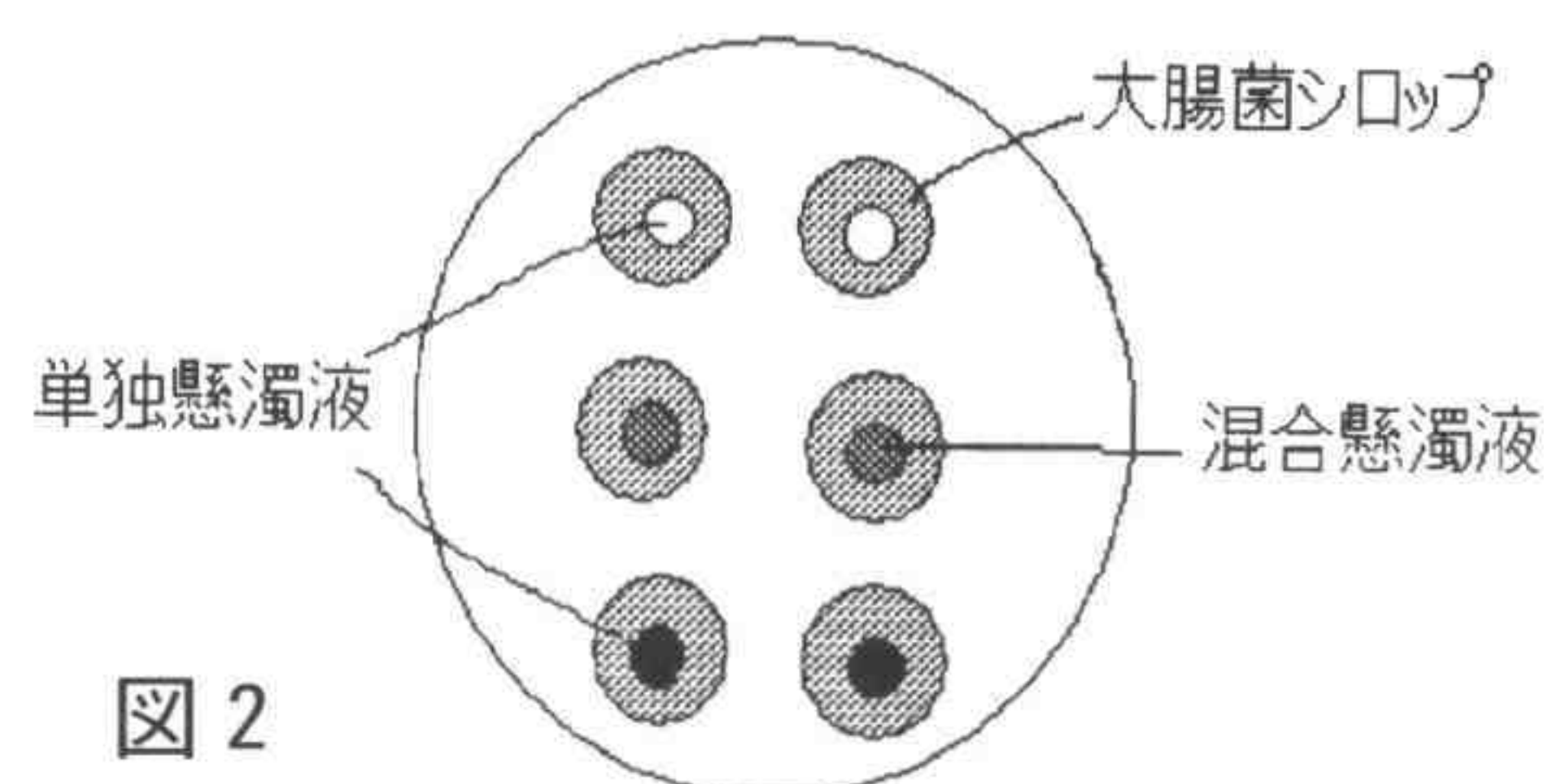


図2

アメーバの増殖後、胞子体の形成される過程は、集合体・移動体・未熟体・成熟体の順に進む。これらのうち、集合体以外の3段階は実体顕微鏡の観察で識別できた。グラフ5は培養温度と形成された胞子体数との関係を、培養開始から4日後の状態と比較した。グラフ6は培養温度と形成された胞子の直径との関係を示した。

2) 結果

①単独培養

シロタマホコリカビの単独培養は24℃以下で胞子体を数多く形成し、27℃では強く抑制されて、胞子体を形成しなかった。ムラサキタマホコリカビの単独培養は18℃以上で胞子体を数多く形成し、15℃では強く抑制されて、胞子体を形成しなかった。単独培養では2種とも温度が低くなるほど、成熟した胞子体の形成に至るまでの速さが遅くなった。また、単独培養では培養温度によっ

て形成される胞子のう直径に有意な差はなかった。

②混合培養

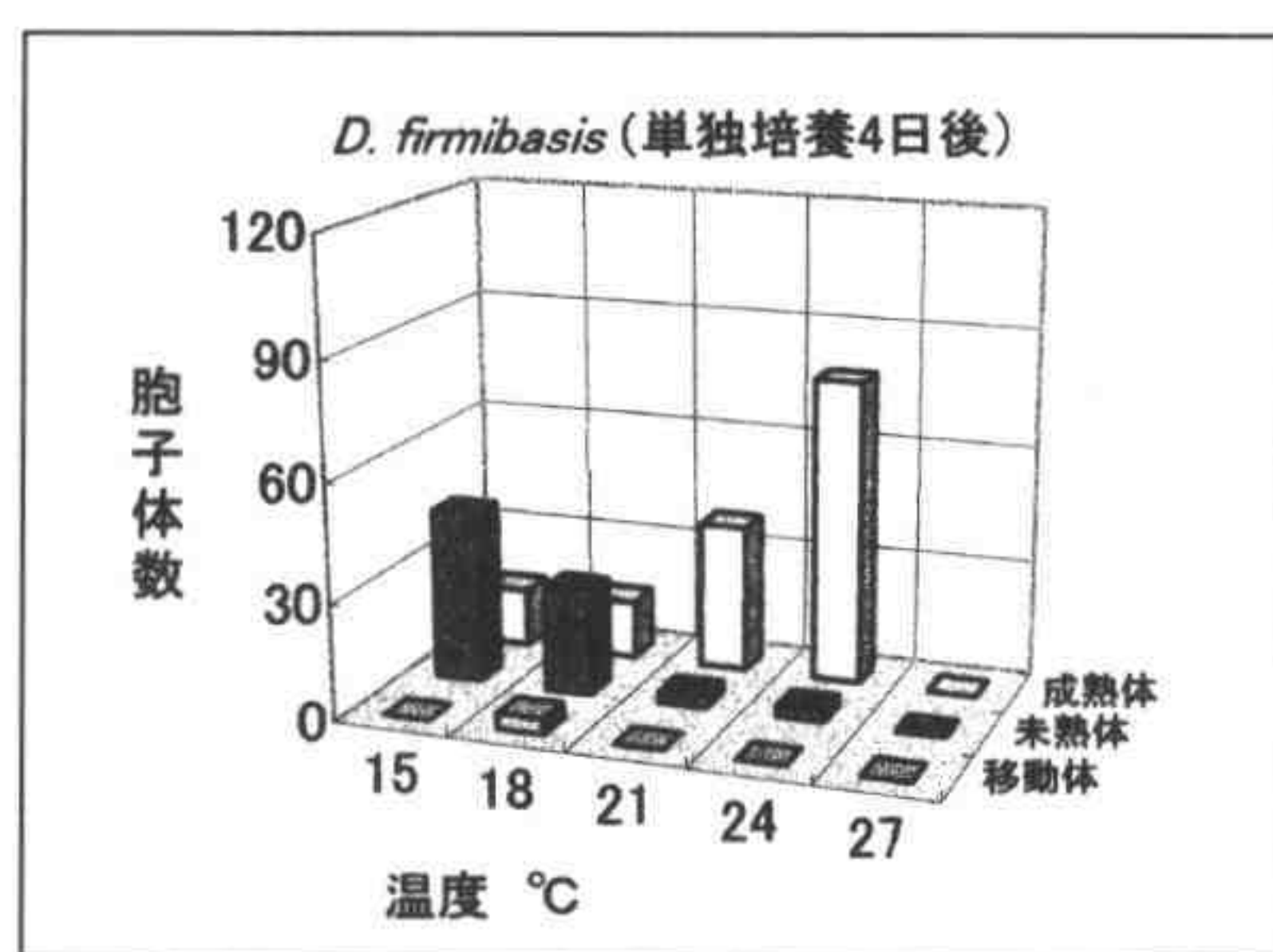
混合培養のシロタマホコリカビは24℃以下のとき胞子体を数多く形成し、27℃では強く抑制されて、胞子体は形成されなかった。混合培養のムラサキタマホコリカビは18℃以上のとき胞子体を数多く形成し、15℃では強く抑制されて、胞子体は形成されなかった。

混合培養にすると単独培養のときと比べて、2種とも18℃、21℃では極端に胞子体数が増えたが、胞子のうの直径は小さくなった。

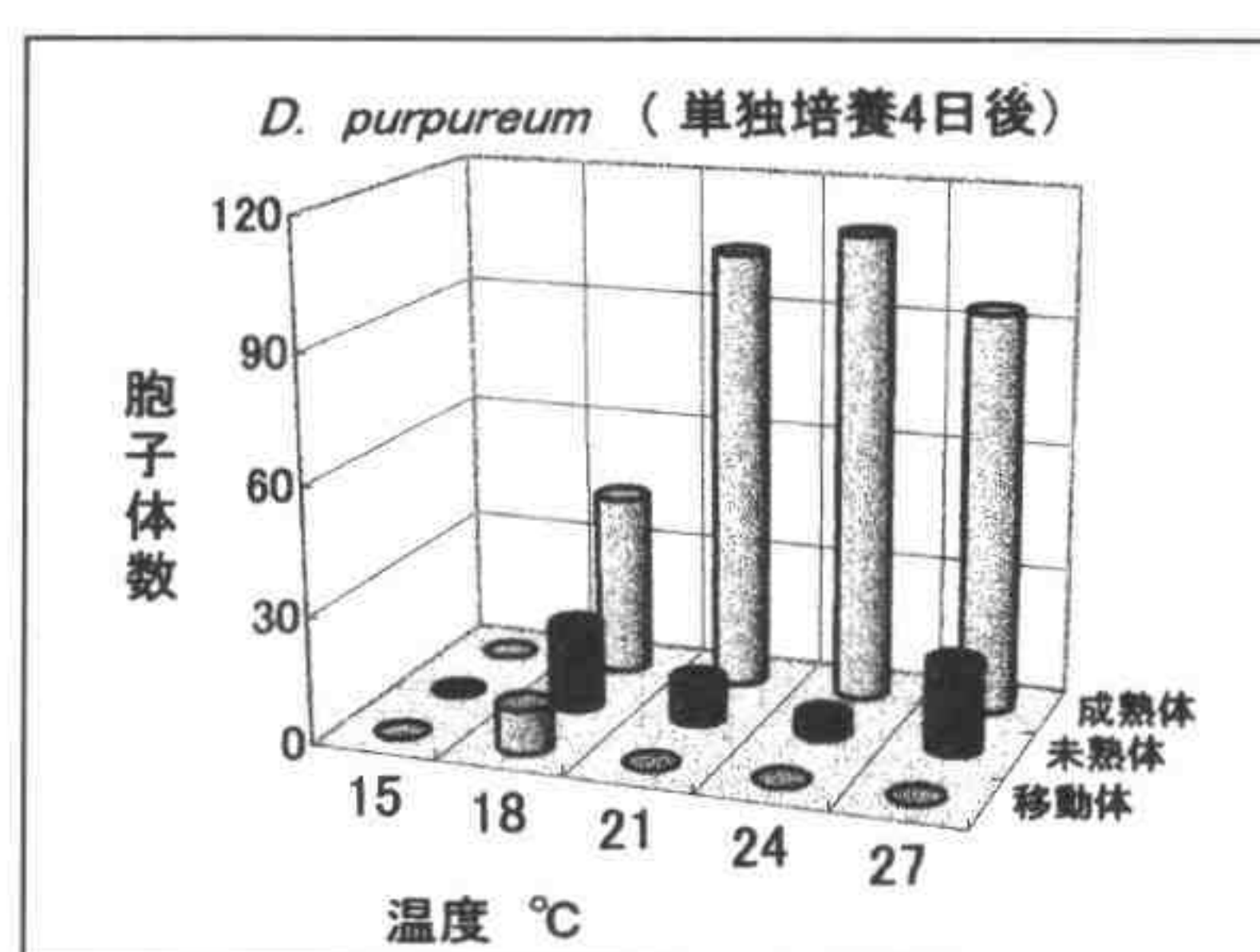
3) 考察

培養温度が低いほど成長が遅くなるのは、アメーバの増殖が抑制されているからであると考えられる。アメーバの増殖と胞子体の形成に与える温度の影響をあわせると、シロタマホコリカビは比較的冷涼な地域に分布しやすいと考えられる。一方、ムラサキタマホコリカビは比較的温暖な地域に分布しやすいと考えられる。はじめの表で示した分布の違いは、温度の要因が強く影響しているということが、実験を通してわかった。

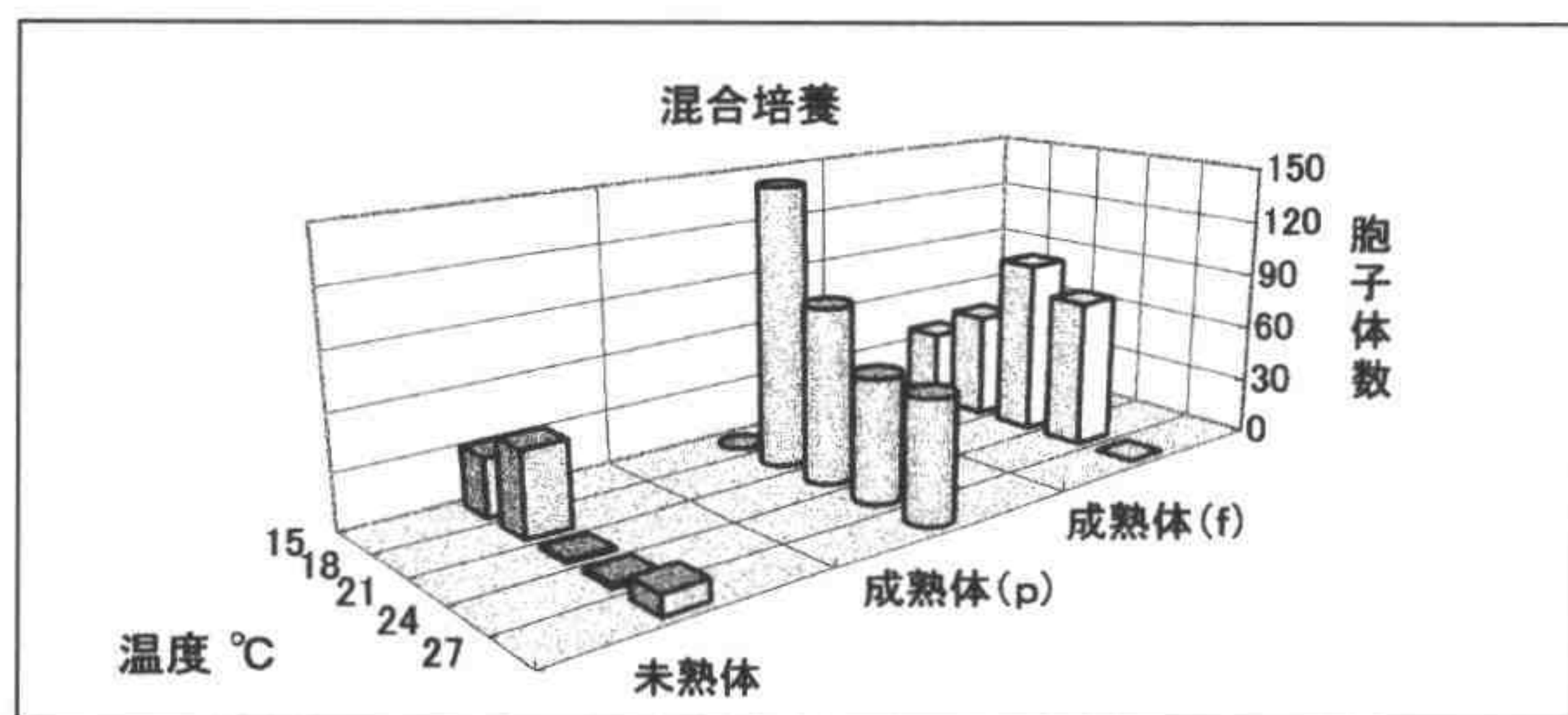
混合培養の結果より、同じエリア内にこの2種の細胞性粘菌が生息している場合、子孫を効率よく残すために、少ない数のアメーバで胞子体を素早く形成する戦略にでると考えられる。単独培養と混合培養で胞子あたりのエサの量は同じに与えたので、2種間の競争によって、小数のアメーバ集団でも胞子体を形成するように変化したと考えられる。



A. シロタマホコリカビ

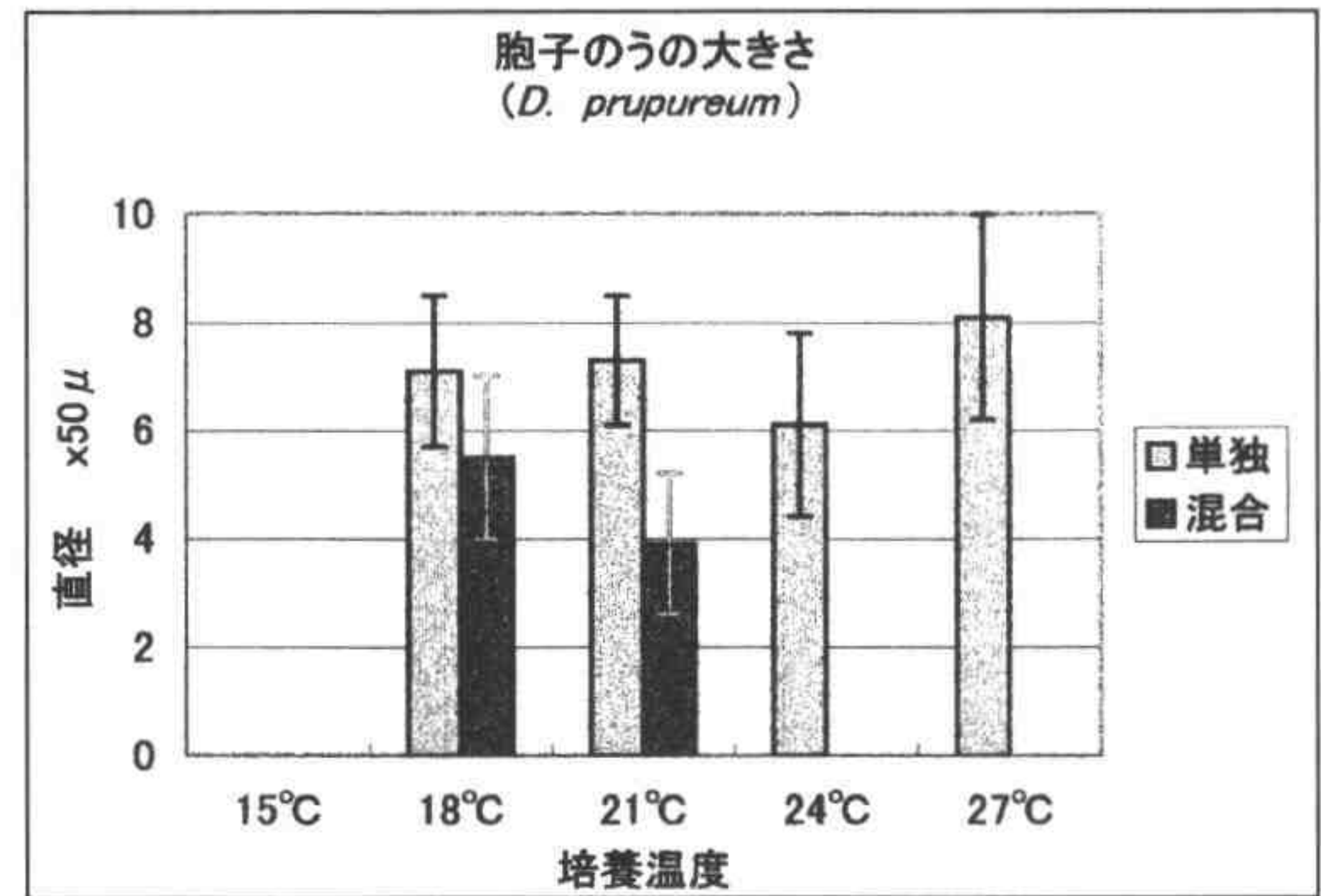
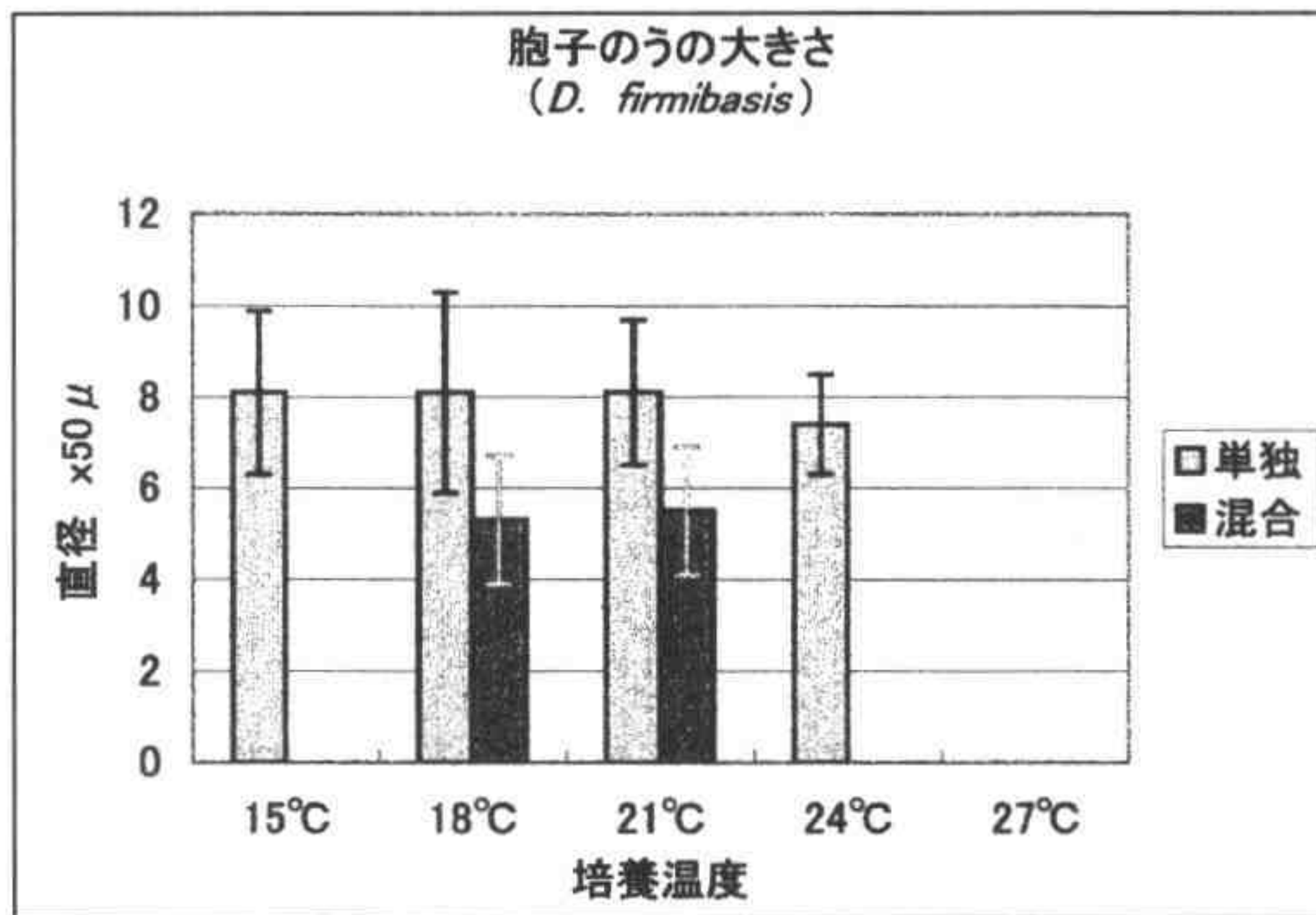


B. ムラサキタマホコリカビ



C. 混合培養

グラフ5. 胞子体数の比較



A. シロタマホコリカビ

B. ムラサキタマホコリカビ

グラフ 6. 胞子のう直径の比較

7. 胞子体の形成に及ぼすpHの影響

1) 方法

pH=5.5, pH=7.0, pH=8.0のそれぞれの培地に大腸菌シロップのスポットを作り、そこに胞子懸濁液をパスツールピペットで一滴滴下し、22°Cで4日間培養した。この実験では単独培養と混合培養を行った。グラフ7は培地pHと形成された胞子体数の関係を、培養開始から4日後の状態と比較した。グラフ8は培地pHと形成された胞子のう直径との関係を示している。

2) 結果

①単独培養

単独培養では、シロタマホコリカビとムラサキタマホコリカビともにpH=5.5のとき最も多く胞子体を形成し、pHが高くなるにつれて減少した。単独培養では、2種ともpHの違いによる胞子のうの直径に有意な差は現れなかった。

②混合培養

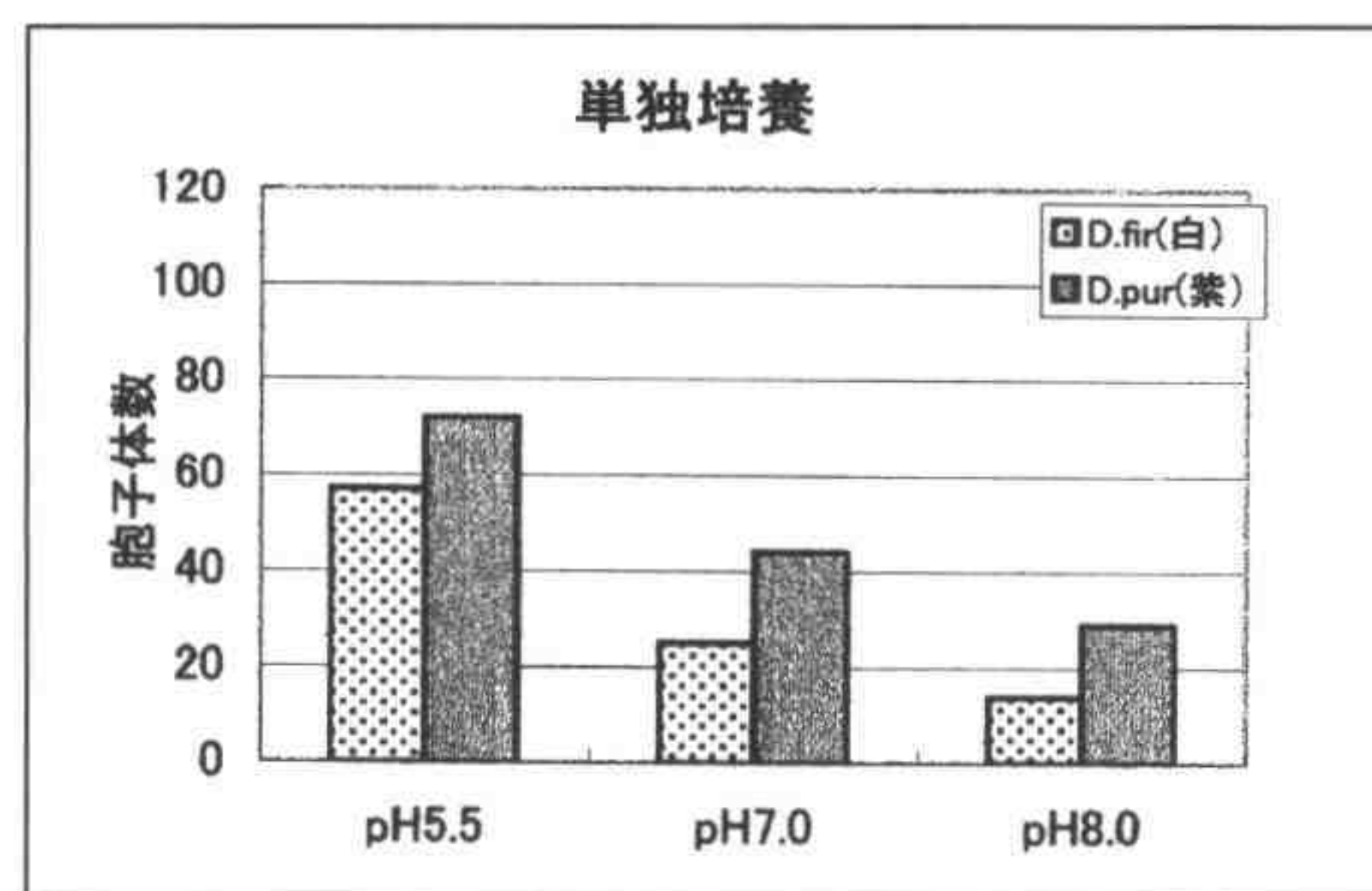
シロタマホコリカビの混合培養では、pH=8.0のときpH=7.0のときと比べて胞子体の形成があまり抑制されず、胞子のうの直径もほとんど同じだった。ムラサキタマホコリカビの混合培養はpH=5.5のとき最も多くの胞子体を形成し、pHが高くなるにつれて抑制された。

混合培養では、2種とも単独培養のときと比べて、全体的に胞子のうの直径が小さくなり、胞子体の数が増えた。

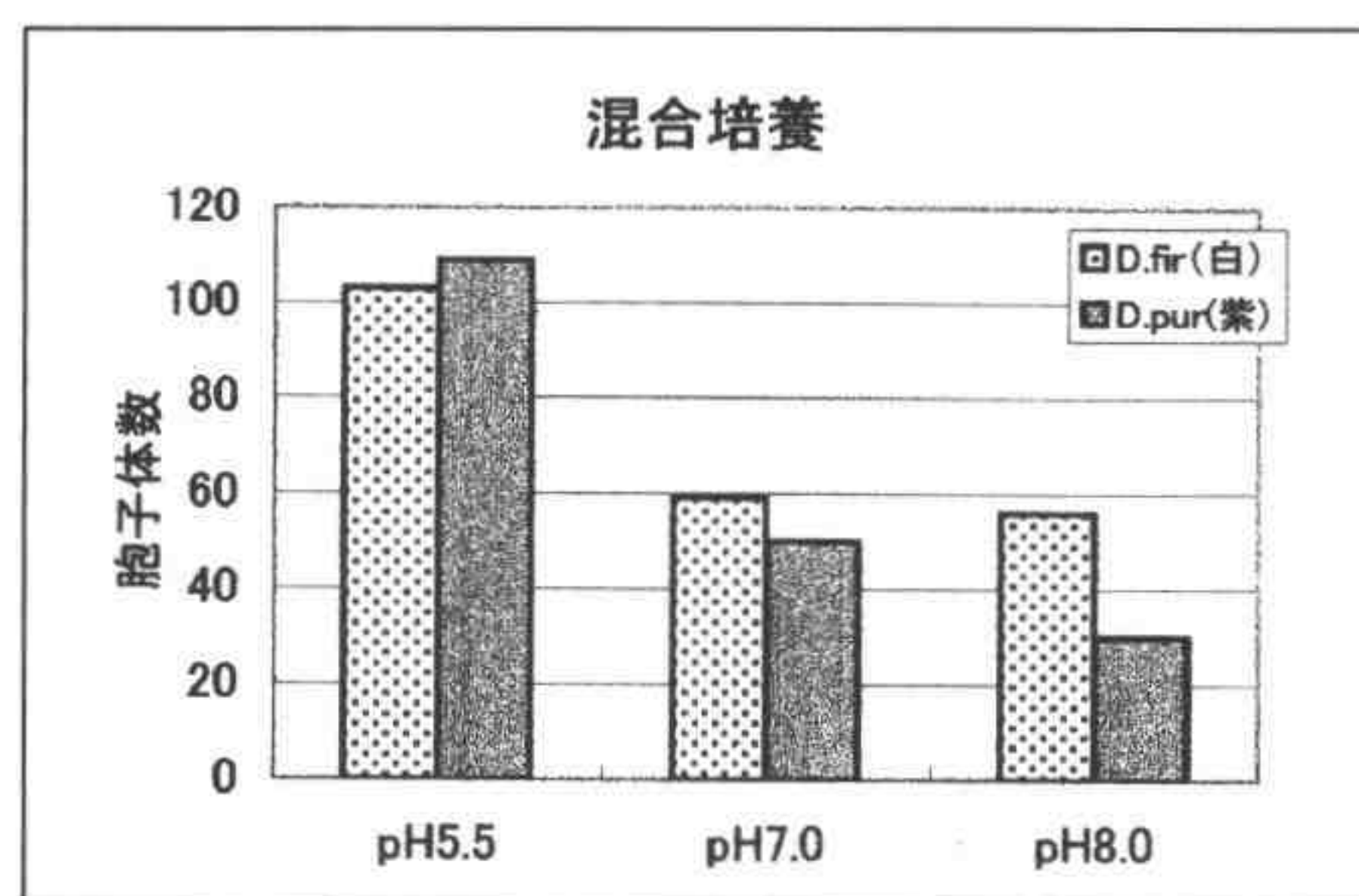
3) 考察

この2種の細胞性粘菌は土壌pHが弱酸性のところで生育しやすいと考えられる。

混合培養の結果より、同じエリア内にこの2種の細胞性粘菌が生息している場合、子孫を効率よく残すために、少ない数のアメーバで胞子体を素早く形成する戦略にでると考えられる。その結果、胞子体数が増加したと考えられる。また、土壌pHが高いときシロタマホコリカビはpH変化に対し適応力が高いと考えられる。

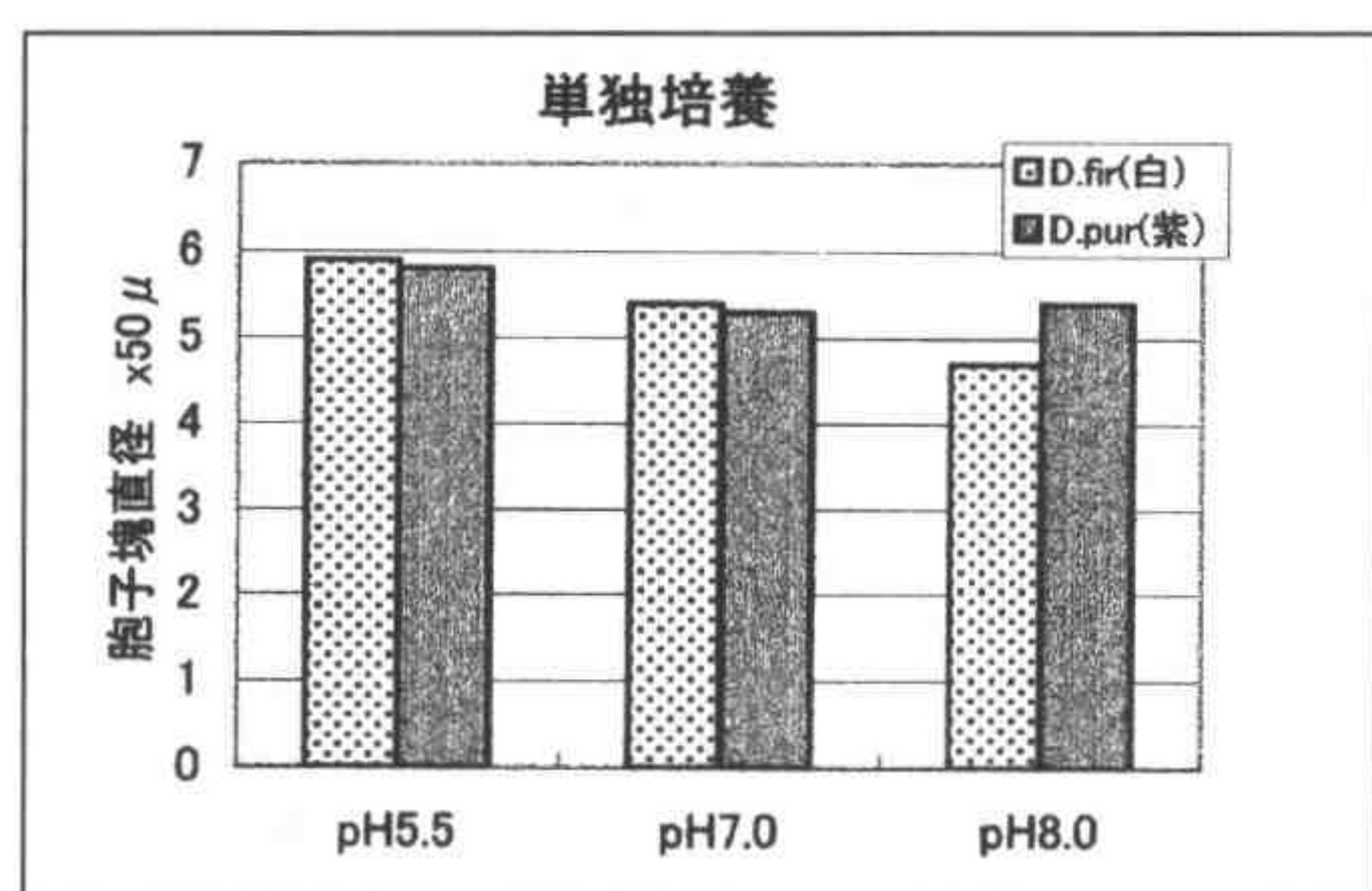


A. 単独培養

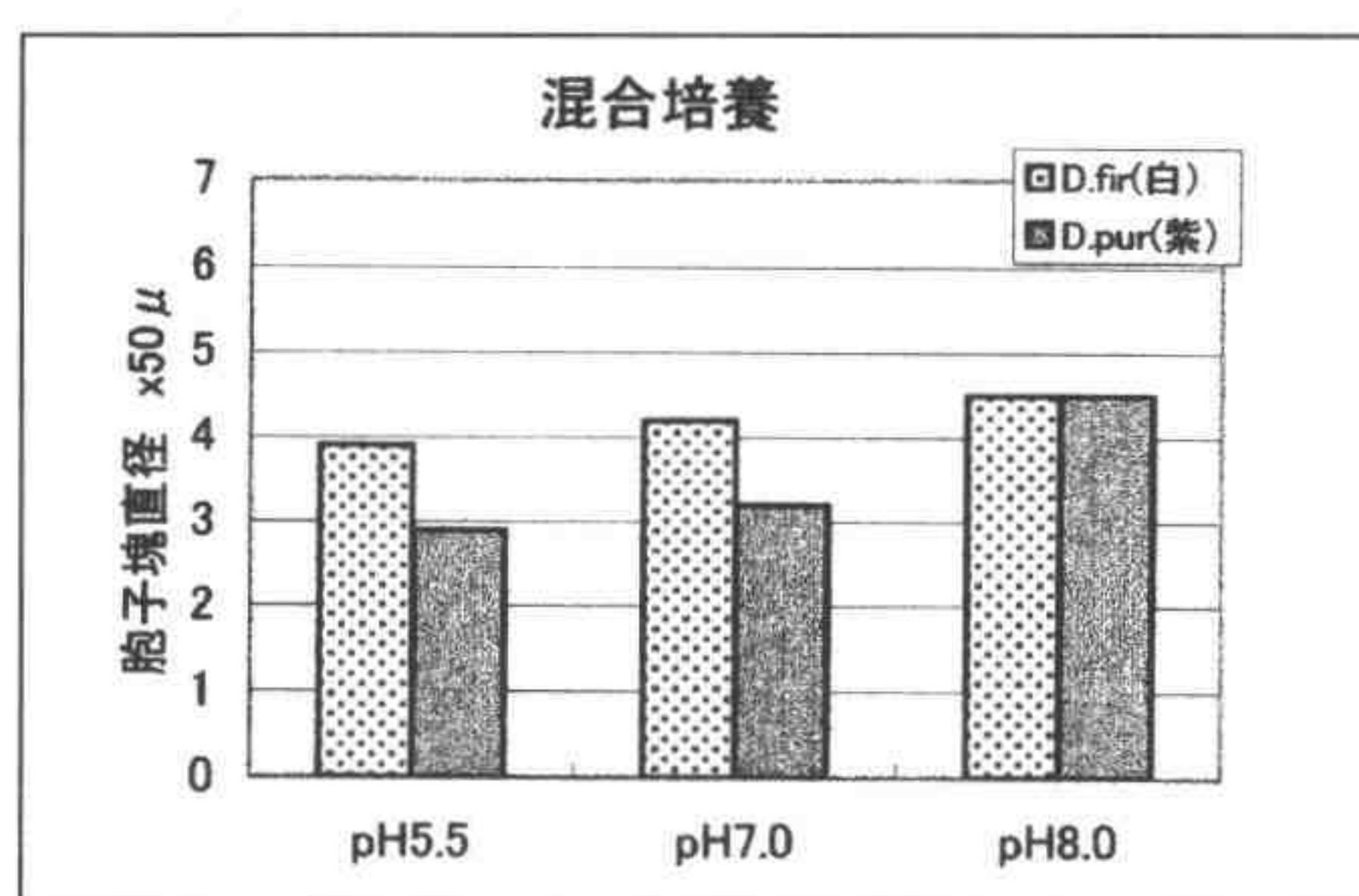


B. 混合培養

グラフ7. 胞子体数の比較



A. 単独培養



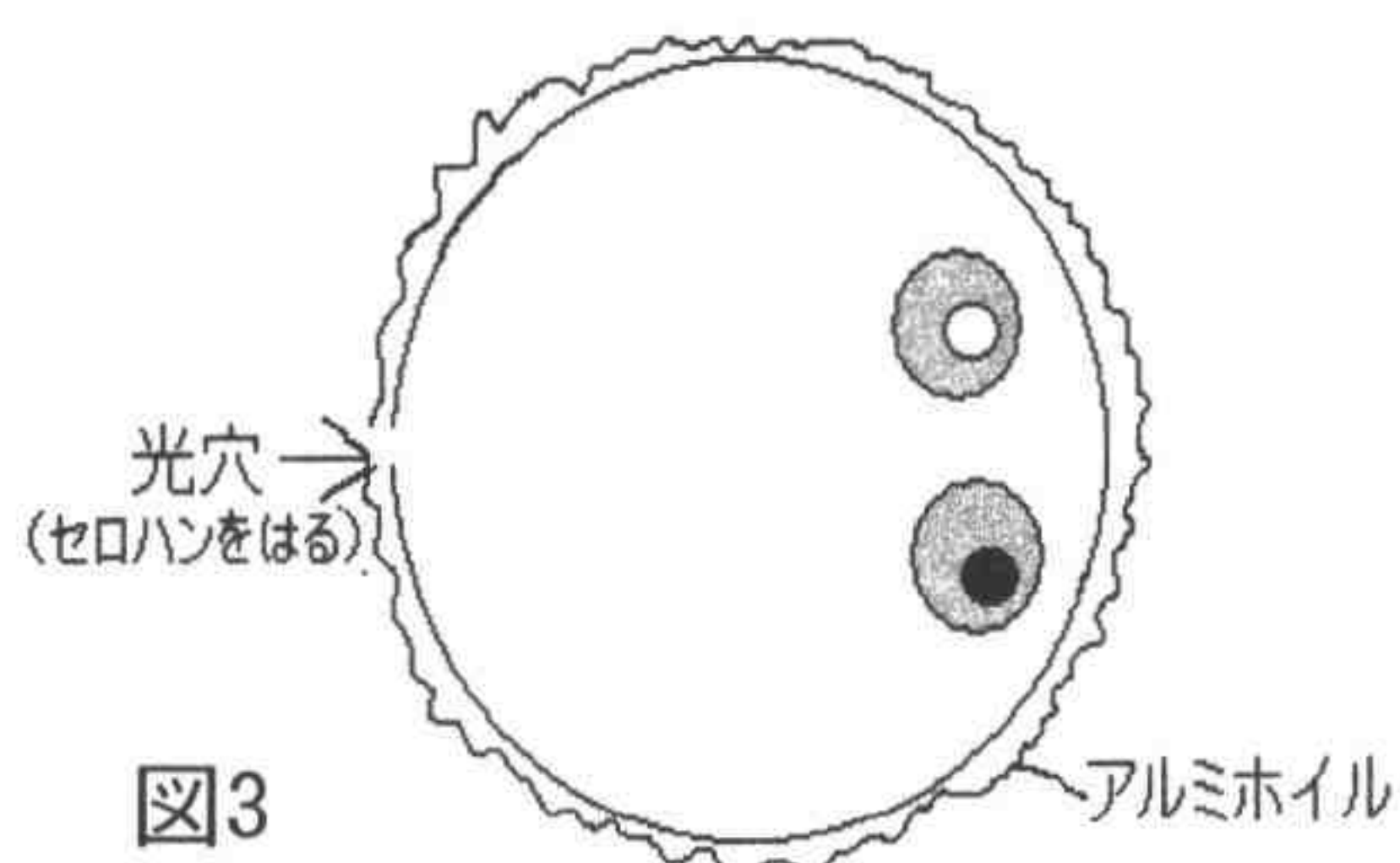
B. 混合培養

グラフ8. 胞子のうサイズの比較

8. 光への反応

1) 方法

大腸菌シロップのスポットに胞子懸濁液をパスツールピペットで1滴滴下したのちに、シャーレの周りをアルミホイルでくるみ、植え付けたところの反対側に直径約2 mmの光穴をあけ、そこにカラーセロハンをはり、22℃で5日間培養した。対照実験にはセロハンのかわりにガーゼをはって培養した。



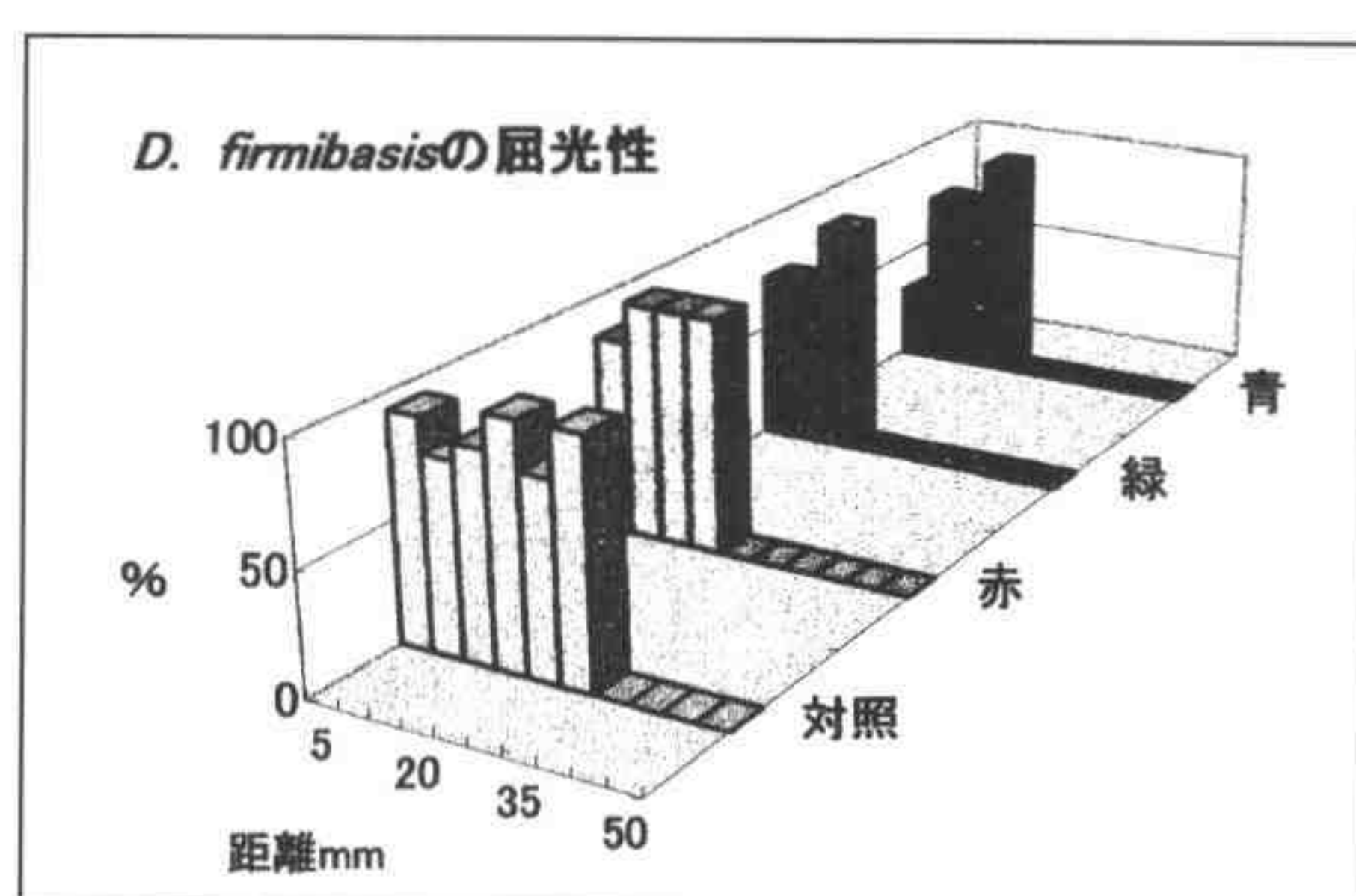
グラフ9は光の色と植え付けたところから光に向かって柄を伸ばした距離の関係を培養開始から5日後の状態と比較した。グラフ10は植え付けたところから光に向かって柄を伸ばした距離と胞子のう直径の関係を示している。

2) 結果

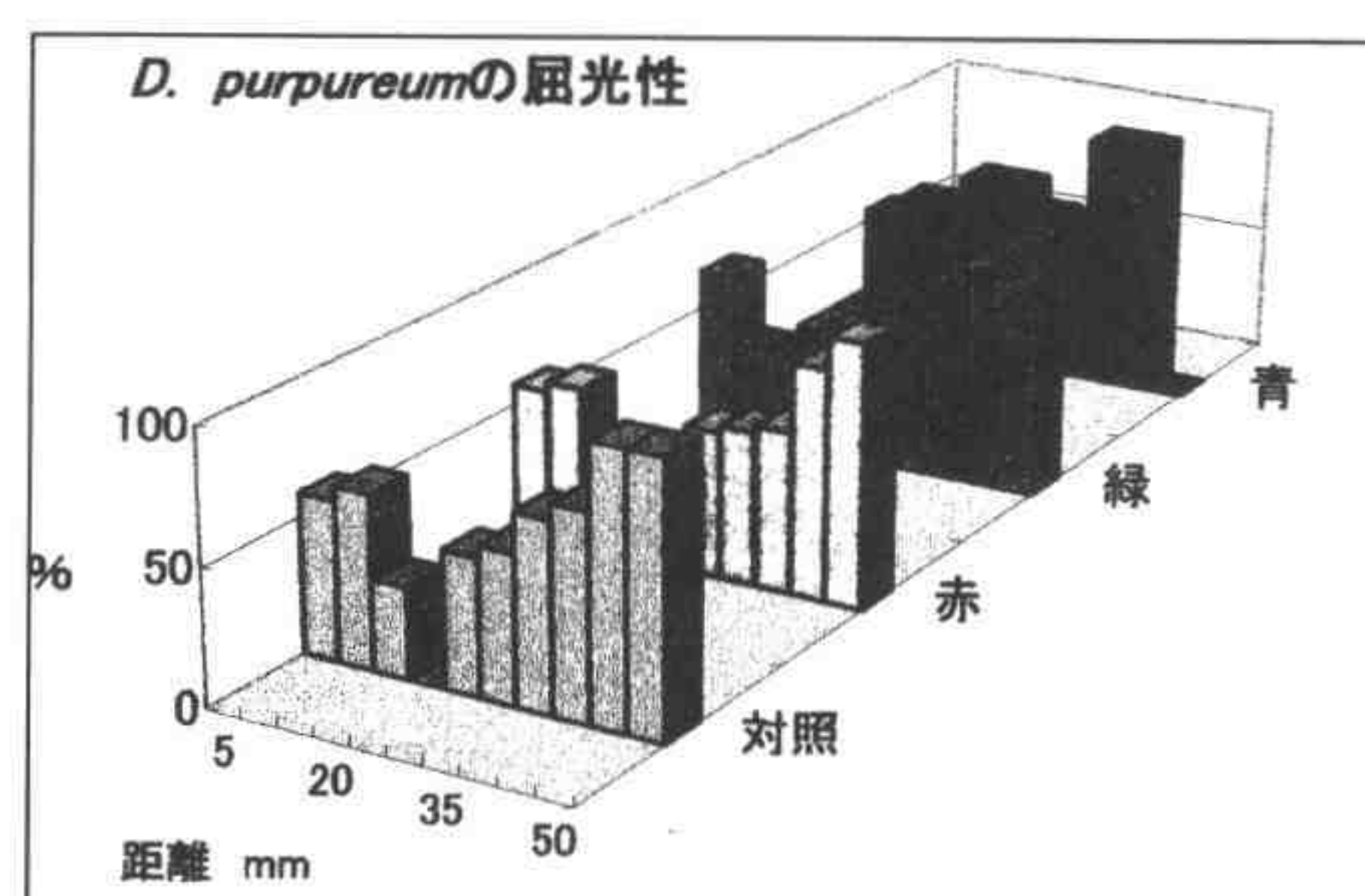
ムラサキタマホコリカビ、シロタマホコリカビともに光に対して、ナメクジのように移動して反応するのではなく、柄を光の方向に伸長させた。ムラサキタマホコリカビのほうが光に向かって柄を伸ばす性質が顕著に現れた。光の色に対する反応は、赤・緑・青のどれも同じような結果になった。柄を伸ばすほど胞子のうの直径は小さくなった。柄を伸ばして移動した距離 x (mm) と胞子のう直径 y ($\times 50\mu$) の関係は、 $y = -0.06x + 6.8$ となった。

3) 考察

ムラサキタマホコリカビのほうが屈光性が強いいため、シロタマホコリカビより土壌深くまで生育していると推察される。屈光性には光の色の識別はできないと考えた。柄を伸ばすほど胞子のう直径が小さくなるのは、柄の部分に細胞が費やされるからであると考えられる。つまり、柄を伸ばせば伸ばした分、次の世代の胞子が減るというリスクを負うと考えられる。ムラサキタマホコリカビは、そのリスクよりも胞子をより広範に散布させることを選択しているのだろうか。

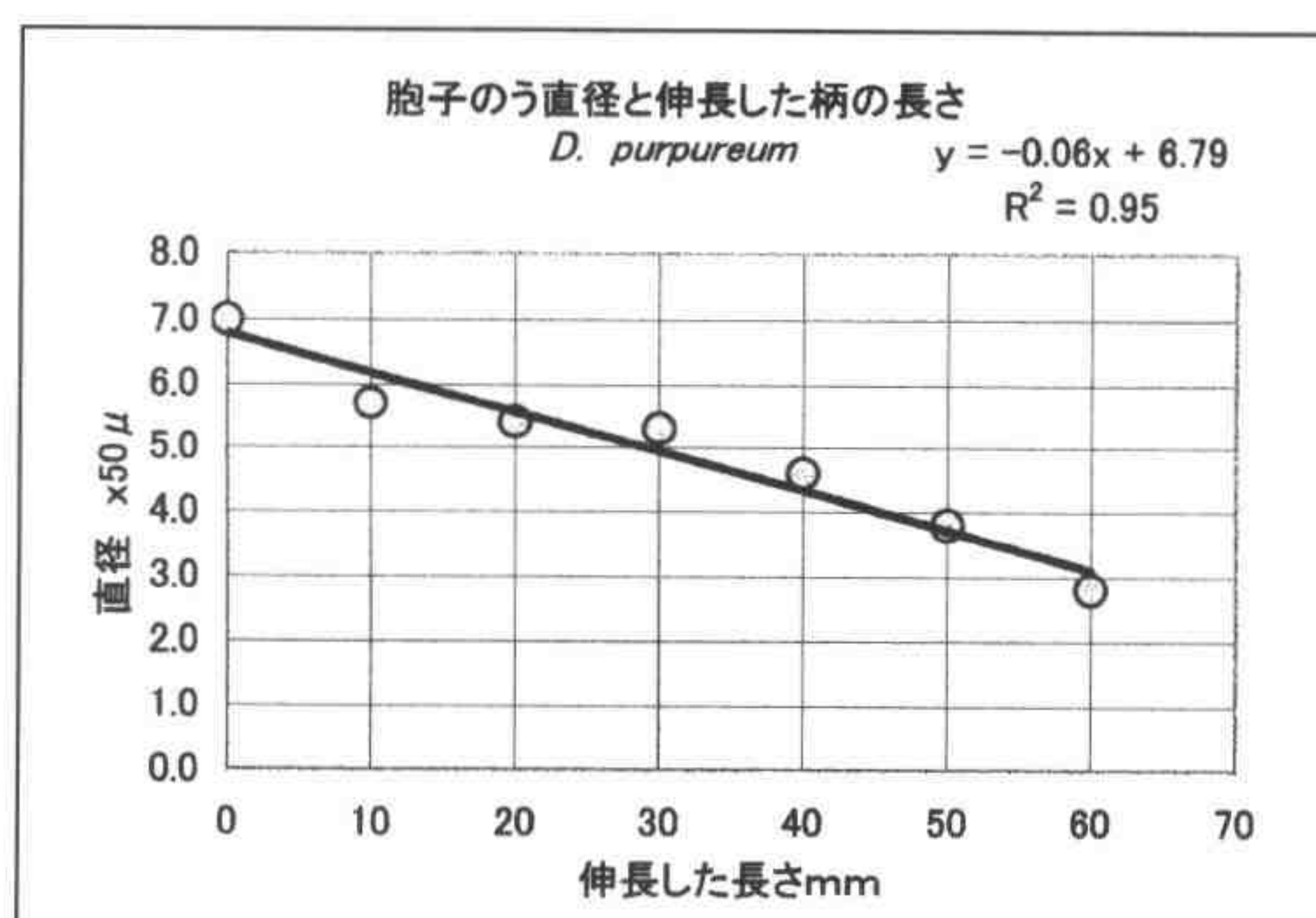


A. シロタマホコリカビ



B. ムラサキタマホコリカビ

グラフ9. 屈光性の比較



グラフ10. 胞子のう直径と柄の長さの関係

ま と め

今日、地球環境の保護について世界中で議論されている。しかし、多くの人々が考えている自然破壊というものは、温暖化によって南極の氷がとけて海面が上昇することや、酸性雨によって木が枯れるといった目に見える事柄ぐらいの理解でしかないと思う。実際僕もあまり深く考えていなかった。しかし、この研究を通じて、温暖化や酸性雨によって目に見える生物ばかりでなく、微生物にも影響が及んでしまうことが分かった。しかし、言い換えれば、高等な生物が打撃を受けている場合、そこにいる微生物はそれらの動物以上に大きな打撃を受けていると考えた。

またこの研究から、細胞性粘菌は単細胞生物のアメーバから多細胞の胞子体を形成する過程で、温度や土壌のpHなどの環境ストレスにより生育に大きな影響を受けていることが分かった。これは、地球上の生物が、生命誕生から今日まで進化を遂げてきた過程においても、関係していると思う。なぜなら、細胞性粘菌はその生活環の中で単細胞から多細胞への進化の過程を繰り返すからである。進化に及ぼす環境ストレスを予見できれば、今日の生物が進化してきた原因に迫ることができると思う。

シロタマホコリカビは低温域への生育能力が高く、ムラサキタマホコリカビは温暖域への生育能力が高い。そこで、今後予想される温暖化は、シロタマホコリカビには不利で、ムラサキタマホコリカビには有利であると考えられる。このシロタマホコリカビを環境指標生物にすることで、地球温暖化が生態系に影響している度合を調べることができるのではないかと考えた。

おわりに、細胞性粘菌の研究をする機会を与えてくださり、また熱心に指導してくださいました、生物部顧問の高橋和成先生に謝意を表します。

参考文献

- 高橋和成 1991. 細胞性粘菌の生態調査とその教材利用に関する研究. 生物の教材開発 p 29-45. 岡山県教育センター.
- 宮脇香奈恵 2000. 細胞性粘菌の温度と分布の関係. 岡山朝日研究紀要第21号 別冊付録.

日光戦場ヶ原の湿原の現在と未来

岡山県立岡山朝日高等学校 生物部

1年J組 難波 壮 C組 川端 洋輔 2年G組 田渕あゆみ
指導教諭 高橋 和成

要 旨

日光戦場ヶ原は、数千年間にわたって湿原という特殊な自然状態を保っている。しかし、遷移によりいつかは森になってしまう。そこで私達は、湿原の現状を調査し、湿原の遷移の方向を検討した。調査は、植生調査、逆川から流入したレキの長径、地表面の温度・湿度を測定した。湿原の周辺部にはハルニレ群落やカラマツ群落があったが、湿原内はズミ群落からイヌコリヤナギ群落に変わり、中央部にヨシ・スゲ・ミズゴケの群落が発達していた。湿原は周辺部から内部に向かって遷移の過程を現していた。ズミの分布と流入したレキの長径との間には関係があり、レキが大きい地点ではズミの一株あたりの幹数が最大32本にまで増加した。今日、ズミ林は土砂が湿原に流入することを防いでいると考えられた。シラカンバの低木は湿原内にまで侵入していた。このシラカンバが成長すると湿原は将来シラカンバ林に遷移すると考えられた。こうしたことから、湿原の現状を維持するためには、ズミ林の保護とシラカンバの駆除が必要と考えられた。

はじめに

今夏は生物部で第31回日本サイエンス・ジャンボリー大会に参加した。大会は栃木県の日光にある戦場ヶ原湿原周辺の自然環境調査を対象としていた。そこは国定公園特別保護地区に指定され、数千年間、湿原の姿をとどめている。生物の教科書に載っている、湿性遷移のしくみは戦場ヶ原にもとづいていると聞いた。湿原は次第に森林へと遷移していくといわれている。戦場ヶ原も最終的には森林になってしまうのだろう。それがいつのことになるのかは分からないが、そこで、私達は湿原の現状を調査し、今後どのように変わっていくかについて研究することにした。調査にあたり、戦場ヶ原湿原が森林に変わっていく要因として、次の3つの仮説を立てた。

仮説：①流入する土砂が湿原を埋めている

②湿原は内部まで乾いてきている

③湿原の内部にまで低木が侵入している

調査方法

調査地は、栃木県日光市戦場ヶ原の北端に位置する北戦場ヶ原の湿原である。湿原内には踏み込むことはできないので、逆川流入域から泉門池に至る自然研究路沿いで調査した。湿原上部の逆川流入域の標高は1402m、下部の湯川沿いでは1394mである。調査域の標高差は8m、道のり

は約800mであった(図1)。調査は、湿原の外周から内部に向かって11地点(A~L)で行った。①湿原周辺部から内部にかけての調査、②湿原に流入したレキの直径の分布を調査、③ズミ一株あたりの幹数を調査、④土壌表面の湿度と温度の測定などを行った。

植生調査は10m×10mの方形区をとり、その中に出現する植物の植被率(%)を調べ被度階級(〜75%=5, 〜50%=4, 〜25%=3, 〜10%=2, 〜1%=1, 1%〜=+)として記録した。樹木については、その出現本数を調べた。また、林の群落高を測棒で計り、階層構造を高木層(〜7m)、亜高木層(7m〜4m)、低木層(4m〜1m)、草本層(1m〜)の4層に区分した。そして、階層別に出現種とその被度を調べた。群落の構造はスケッチをして記録した。またズミの一株あたりの幹数は10株のズミをランダムに選び、幹の本数の平均値を求めた。

レキの大きさ調査は各地点で10個のレキをランダムに選び、その長径を測定し、平均値を求めた。温度と湿度は各地点で地表面に3cm程の穴を掘り、温湿度計を直接穴に差し込んで計測した。



図1. 日光戦場ヶ原の調査地域

結果と考察

1. 植生調査

写真1は、湿原の周辺部のハルニレ林(A:地点A)と逆川の流入地点(B)である。流入河川の氾濫がない場所では樹高18mに達する林になっていた。逆川からは洪水時にレキや土砂が湿原内に流入していた。写真2は逆川流入域に広がるズミ林である。ズミは株立ちになっているものがほとんどで、Cのズミは32本の幹からなっていた。これは、洪水のたびに折れた幹から萌芽して形成されたと考えられる。ズミ林(D:地点B)の土壌は大きなレキで形成されていた。写真3はイヌコリヤナギ群落にシラカンバやカラマツが混生している地点(E:地点E)である。地表には長径10cm程度のレキが転がっていた。さらに、湿原内部にはシラカンバやカラマツが生育していた(F:地点F)。写真4は湿原中央部の調査地点の植生である(G地点、H地点)。ヨシ群落の中にオオアゼスゲが混生していた。場所によっては、シラカンバの低木が侵入してい



写真 1

Ⓐは地点Aの写真、ハルニレ・ユッコウザサ群落。
 Ⓑは逆川流入入口の写真、長径25cm以上の大きなレキがみられる。

写真 3

Ⓔは地点Eの写真、イヌコリヤナギ群落、地面には長径10cm程のレキが転がる。
 Ⓕは地点Fの写真、シラカンバ群落、シラカンバと共にカラマツも亜高木層に見られる。



写真 2

Ⓒは株内の幹数が32本のズミ。場所は地点B、ズミ群落、長径25cm以上の大きなレキが転がる。
 Ⓓは地点Bの写真、ズミ群落。

写真 4

Ⓖは地点Gの写真、ススキ・ヨシ群落にシラカンバが散在、湿原入口にあたり、レキはない。
 Ⓖは地点H～Jの写真、ヨシ群落、湿原内部にあたりレキはない。



写真 5

①は地点Kの写真、シラカンバ、カラマツ、ニッコウザサ群落。レキはなく、衰退したズミがみられる。
 ②は地点Lの写真、シラカンバ、ニッコウザサ群落。湯川流入域でレキはみられない。ここでも衰退したズミが見られる。

た。湿原を通り抜けた湿原の下部に位置する湯川の流域には、写真5のシラカンバ・カラマツ林が発達していた（I：K地点、J：L地点）。

群落の階層構造図をスケッチによって、記録した。土砂の流入のない湿原の周辺部にはスケッチAのようなハルニレ林（調査区A）が発達した。洪水時には大量の土砂が直接流入する場所にはスケッチBのようなズミ林（調査区B）が成立していた。逆川から遠ざかり土砂の流入が減少する地点では、スケッチC（調査区E）のようなイヌコリヤナギ群落にシラカンバ・カラマツが混生し、ズミが残存する植生が成立していた。湿原内部ではスケッチD（調査区H）のようなヨシ・オオアゼスゲ群落にシラカンバが侵入していた。

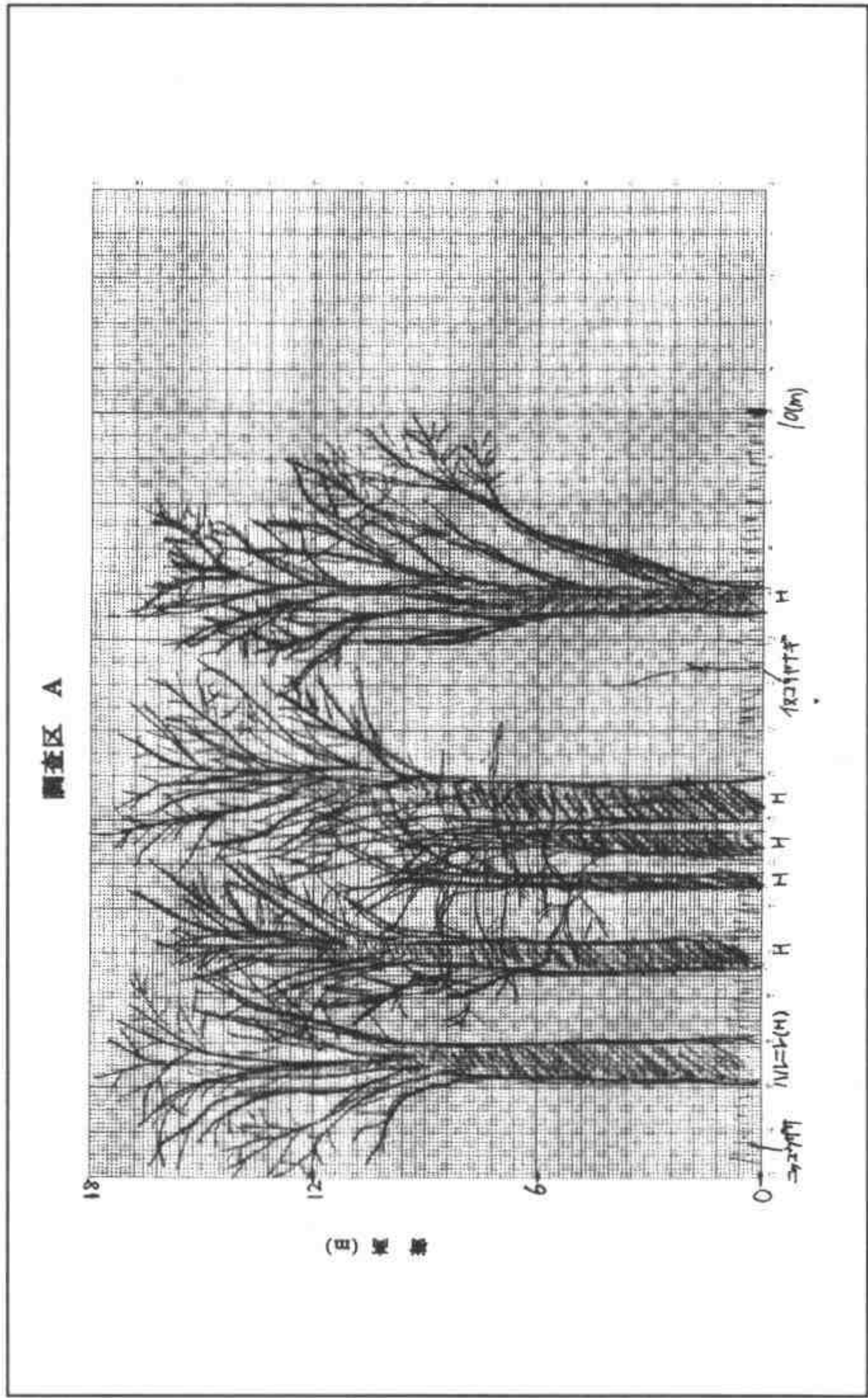
表1は、A～L地点の植生調査の結果である。

表2は出現した樹木の本数を整理した。この表から次のことがいえる。出現種数が増加すると、階層別の被度の合計値や出現個体数が増加する。A地点からK地点まで優占する植物がハルニレ→ズミ→イヌコリヤナギ→シラカンバ→ズミと

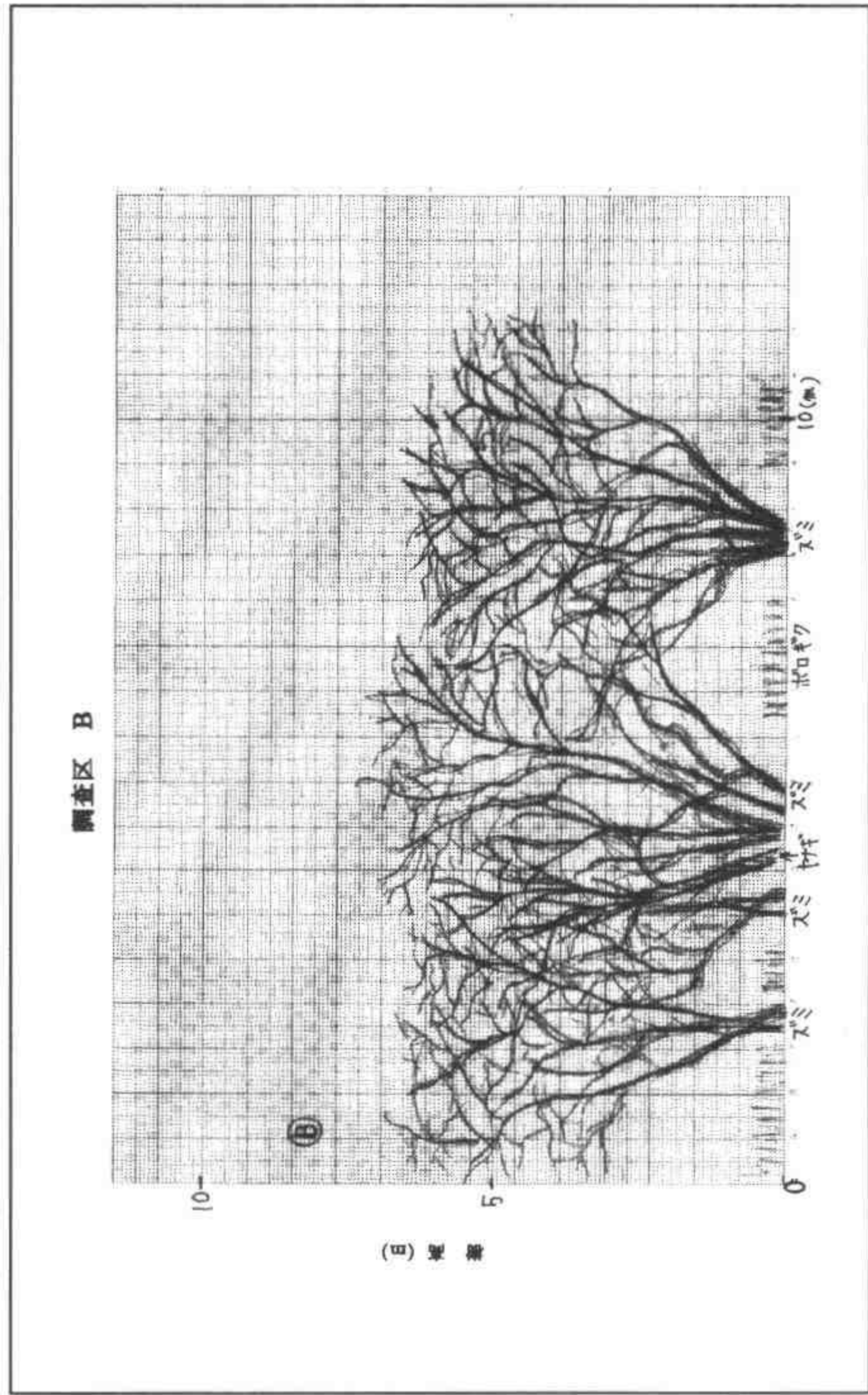
変化している。被度の合計値は、A地点、G地点、H・I地点の4地点で低くなっている。A地点は逆川流入口よりも2mほど高い場所で、逆川からの土砂の流入がなくなった地点である。またG～I地点は湿原内部で、生育する植物は草本に限られている。逆川からは洪水のときに大量の土砂が流入するが、A・G・H・Iの4地点は逆川の流路から外れるか下流域であるために、土砂の流入による土壌環境の変化が少ない安定した地点で、安定した群落が成立していると考えられる。

D地点、F地点、K地点では、被度合計値が20をこえている。この3地点では、階層構造が発達している。また、D地点とF地点には逆川が流入し、K地点には湯川が流入している。そのため、土壌環境が変わりやすいと考えられる。攪乱を受けやすい地点では生育する植物の種類が多くなっていた。

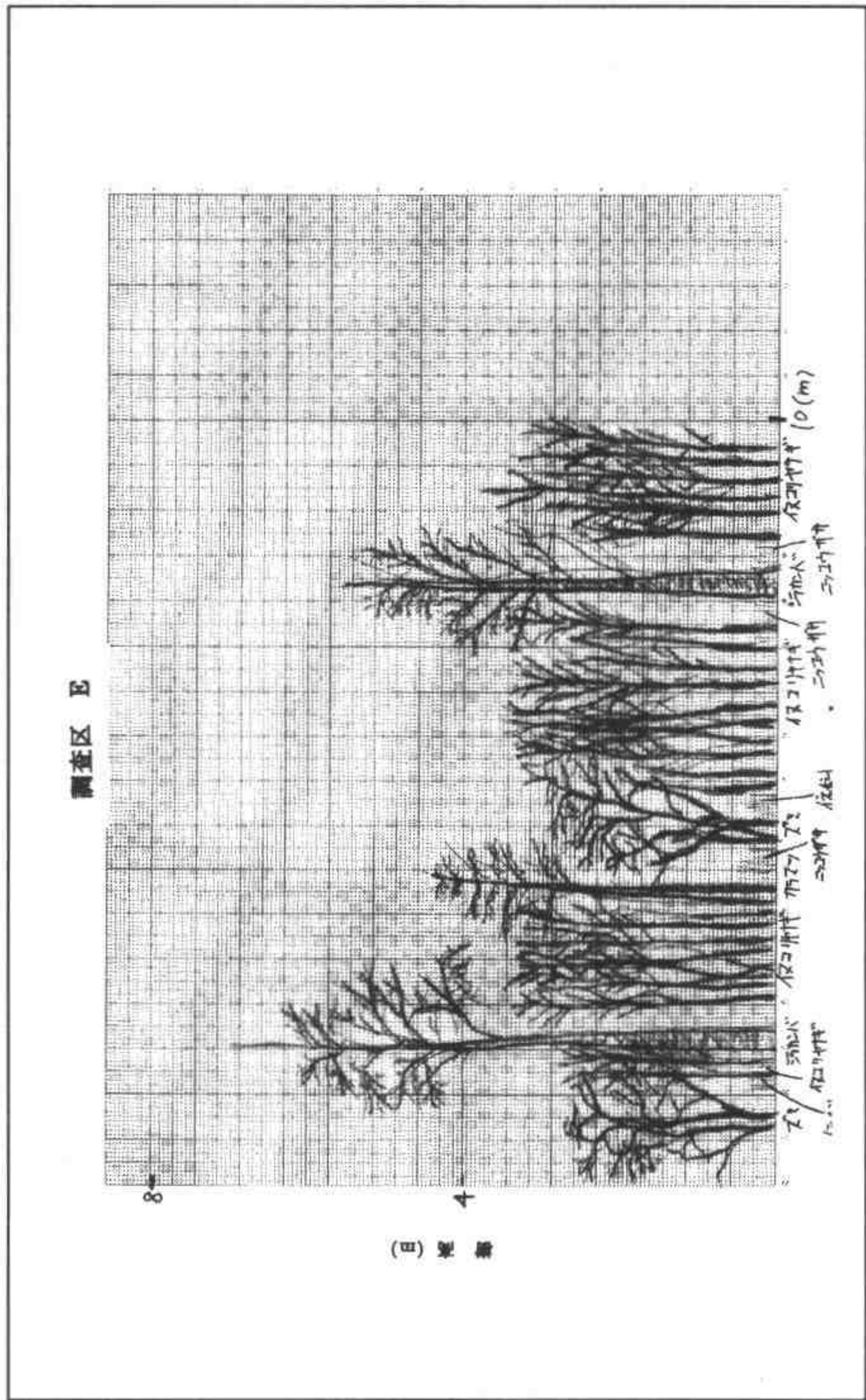
以上のことから、土壌環境が変化しにくい場所ではよりその環境に適した植物が優占するので、出現種数が限られていると考えられる。また、土壌変化の激しい地では、新たな植物の侵入と競争が起こり易いので、多種の植物が生育していると考えられる。



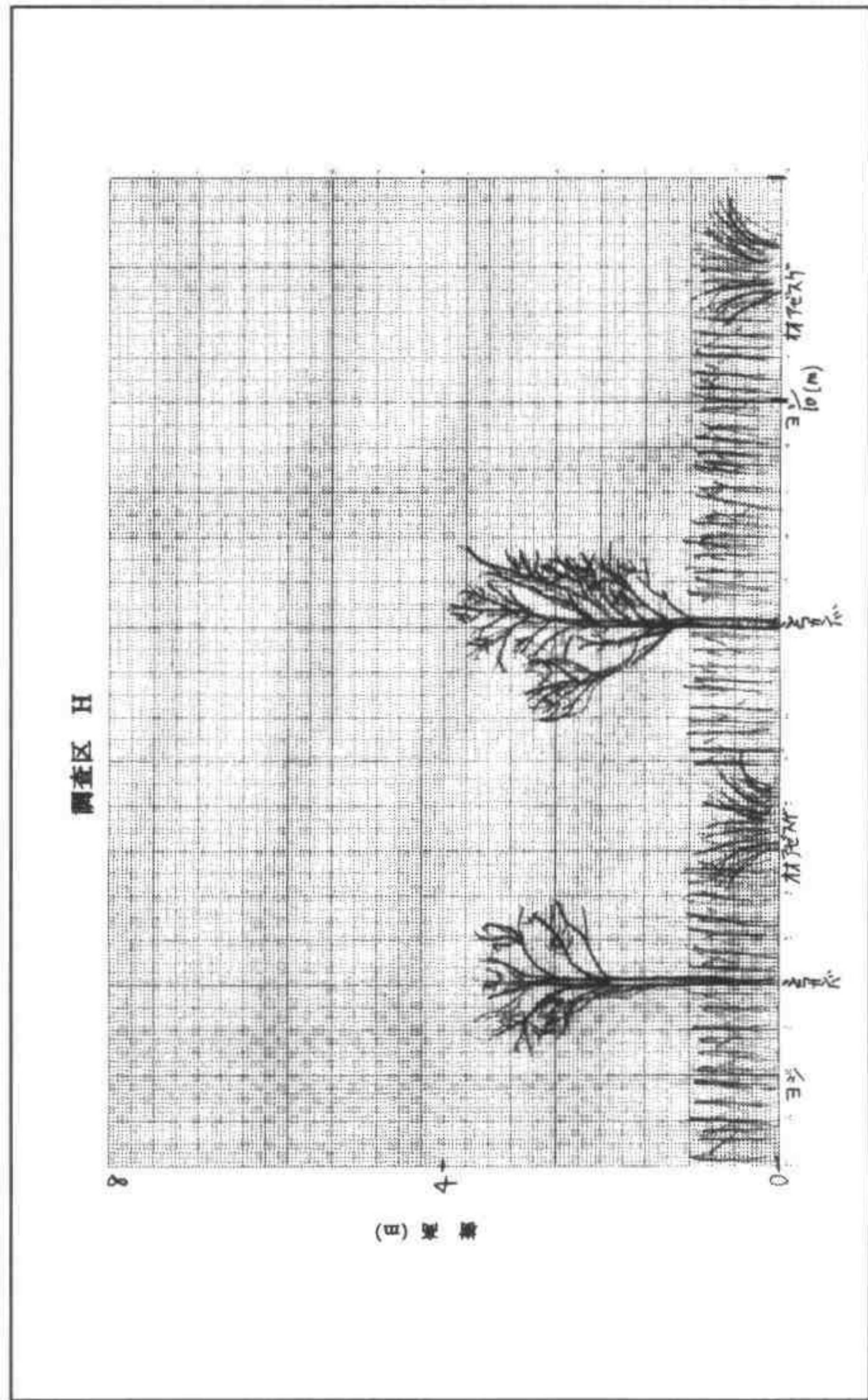
スケッチ A



スケッチ B



スケッチ C



スケッチ D

表 1. 日光北戦場ヶ原の植物調査結果

植物名	階層	調査区内の被度										
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L
ハルニレ	T1	5										
ハルニレ	T2	2										
ズミ	T1		5	5								
ズミ	T2		3	2							2	3
シラカンバ	T1			2	3						2	3
ズミ	S				4	3	2				4	1
イヌコリヤナギ	S	+			1	5	5	1				
シラカンバ	T2				2	2	4	1				
シラカンバ	S							2	1			
ヤナギ	T1		2									
イヌコリヤナギ	T2						1					
カラマツ	T1										3	1
カラマツ	T2					1	2	1			2	
カラマツ	S	1			1			1				
ヤマハンノキ	T1		1		3							
ヤマハンノキ	T2				2							
ミズナラ	T1											1
マユミ	T2		1									
マユミ	S			1								
ニッコウザサ	H	5		2		2					5	5
クロミノウゲイスカグラ	H		2	3		1	3					
ボロギク	H		3		2		2					
ススキ	H					2	2	3		1		
ヨシ	H						2	2	5	5	2	
ホザキシモツケ	H							1			1	
オオアゼスゲ	H								2	2		
ウラジロモミ	H										+	
イネ科	H				3	2					1	
被度合計値		13	17	15	21	18	23	12	8	8	22	14
出現種数		4	6	5	7	8	8	6	3	3	8	5

表 2. 日光戦場ヶ原に生育する樹木の本数

植物名	調査区内の幹本数											出現個体数
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	
ハルニレ	9											9
ズミ		41	22	15	19	20				67	20	204
イヌコリヤナギ	1			26	130	43	2					202
シラカンバ			1	8	4	19	43	2		6	22	105
カラマツ	2			2	1	2	12			18	1	38
ヤナギ		2										2
ヤマハンノキ		1		10								11
ミズナラ											1	1
マユミ		1	1									2
合計	12	45	24	61	154	84	57	2	0	91	44	574

図2には、ズミ、イヌコリヤナギ、シラカンバの分布を階層別に表わす。ズミとイヌコリヤナギは土砂が流入する地点で優占した。ズミは、湿原外縁から内部にかけて高木層から低木層に分布した。しかし、被陰された林内にはズミの低木はなく、湿原内部に向かいズミの樹高は低くなり被度が低下した。イヌコリヤナギは湿原外縁の林には分布せず、湿原内の低木層に分布した。しかし、シラカンバの低木が優占する地点よりも山側のE・F地点に集中（173個体／100m²）して生育した。シラカンバは湿原の外縁では高木であったが、内部では樹高が低くなり被度が低下した。シラカンバは攪乱のある場所に生育したが、その低木は土砂の流入しない湿原内（H地点）にまで侵入した。ことから、シラカンバの分布は土砂の流入に対応しているのではなく湿原のような樹木の無い場所に広がる性質があると考えられる。

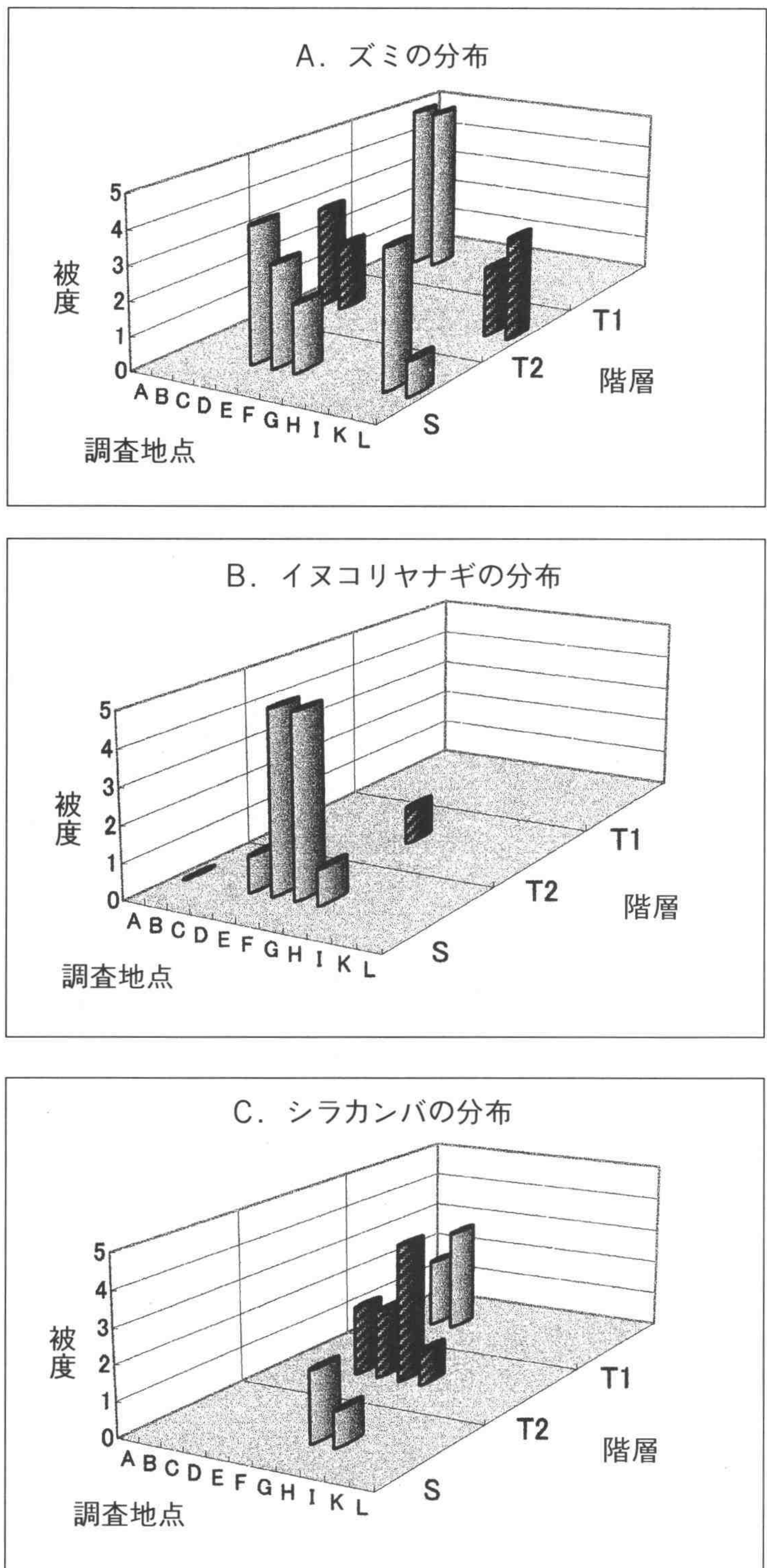


図2. 樹木の階層別分布

図3は、ズミ・イヌコリヤナギ・シラカンバの生育本数の比較をした。ズミは湿原中央部を除き、どの地点においても区画当たり約20本以上の生育がみられた。しかし、B地点から湿原内部に移動するにつれて樹高が低くなっていた。また、湯川の流入口であるK・L地点でも生育していた。B地点でのズミとK・L地点でのズミを比べると、K・L地点ではズミは亜高木にまで成長しているが、林冠はシラカンバやカラマツに被陰されていた。こうしたことから、ズミは土砂が流入する不安定な場所に適応して生育すること、土砂の流入が止まるとズミ群落はシラカンバ群落やカラマツ群落に遷移することなどが考えられる。

イヌコリヤナギは低木林と湿原の草地との境界線に集中的に分布し、生育場所が限定されていた。シラカンバは、湿原外縁の林から、湿原内部にまで生育していた。湿原草地との境界の低木林で最も生育本数が多く、K・L地点では樹高が18mに達するシラカンバ・カラマツ林を形成していた。こうしたことから、湿原はシラカンバによって森林化が進んでいると考えられる。

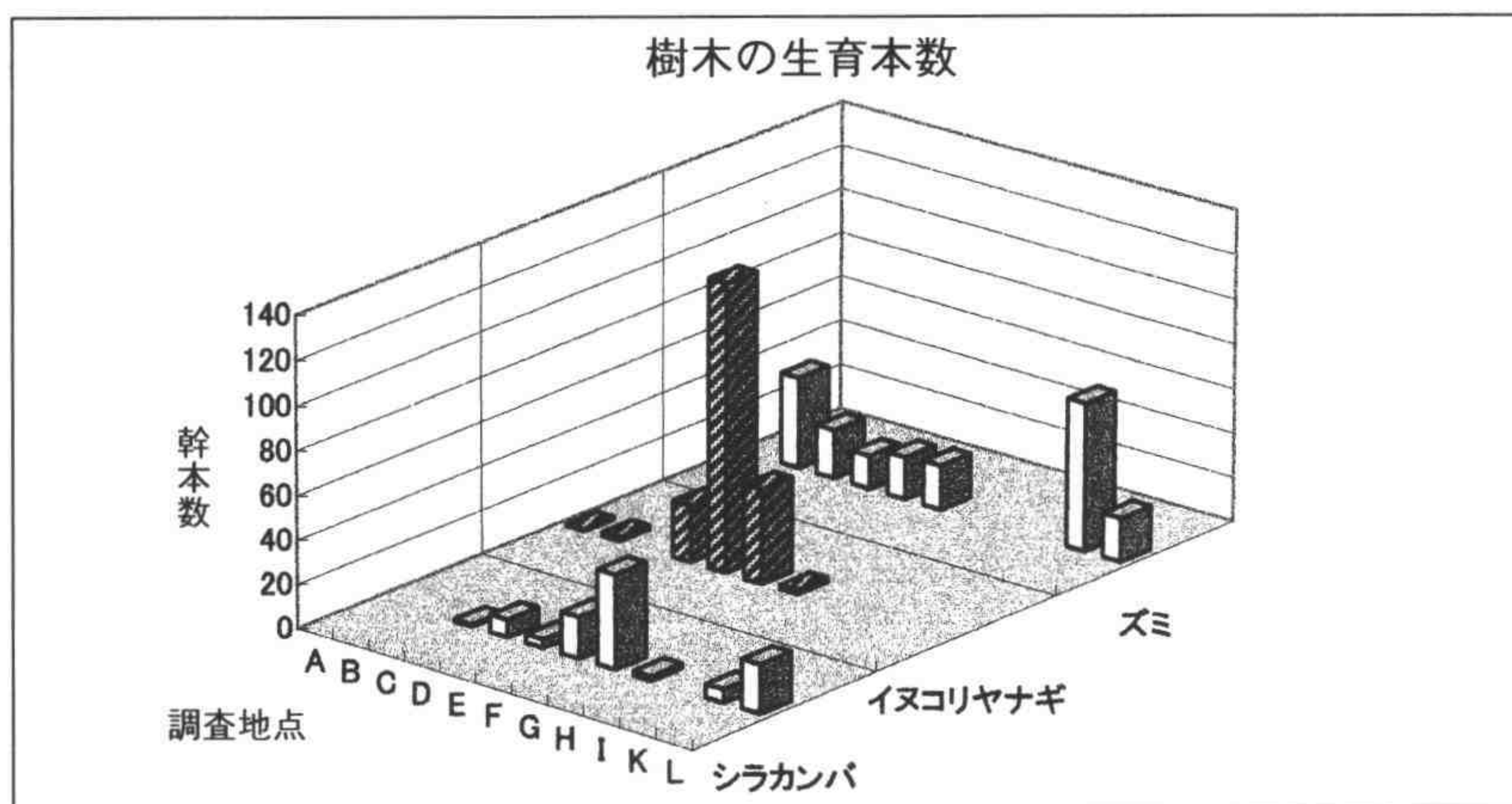


図3.樹木の生育本数の比較

2.レキの大きさとズミの株あたりの幹数の関係

図4Aは、標高とレキの長径との関係を表す。逆川は標高1401mの地点から湿原の内部に向かって流入している。逆川の流入地点から湿原内に入り、標高が低くなるとレキのサイズは小さくなった。つまり、逆川の流入口に近いほどレキは大きく、遠ざかると小さくなった。すでに川の流入のなくなった標高1402mのA地点では、直径の平均が20cmのレキが見られた。B地点は逆川の流入口にあたり、直径30cm以上のレキが多く見られた。H・I地点は湿原の内部でレキは全く見られず、地面は泥で覆われていた。また、湯川沿いのK・L地点でもレキは見られず、地面は泥で覆われていた。このことから、湯川が氾濫して湿原へ土砂を流入させることはなくなっている。

図4Bからは、レキの長径とズミの株あたりの幹数との関係を表す。レキが大きくなるとズミの幹数が多くなっていた（相関係数 $r=0.67$, 5%有意）。レキのサイズが25cmをこえるB地点では、株あたりの幹数が32本というズミも見られた。例外として、レキがないにも関わらず、ズミが株立ちになっていたのがK・L地点であった。この地点では、かつて湯川からの土砂の流入があったことを物語っている。

ズミは折れると萌芽再生する性質をもつと言われる。それによってレキの湿原への流入を防止しているのだと考えられる。逆川からの土砂の流入で湿原が埋まってしまわないのは、ズミ林が土砂の流入を防いでいるからと考えられる。

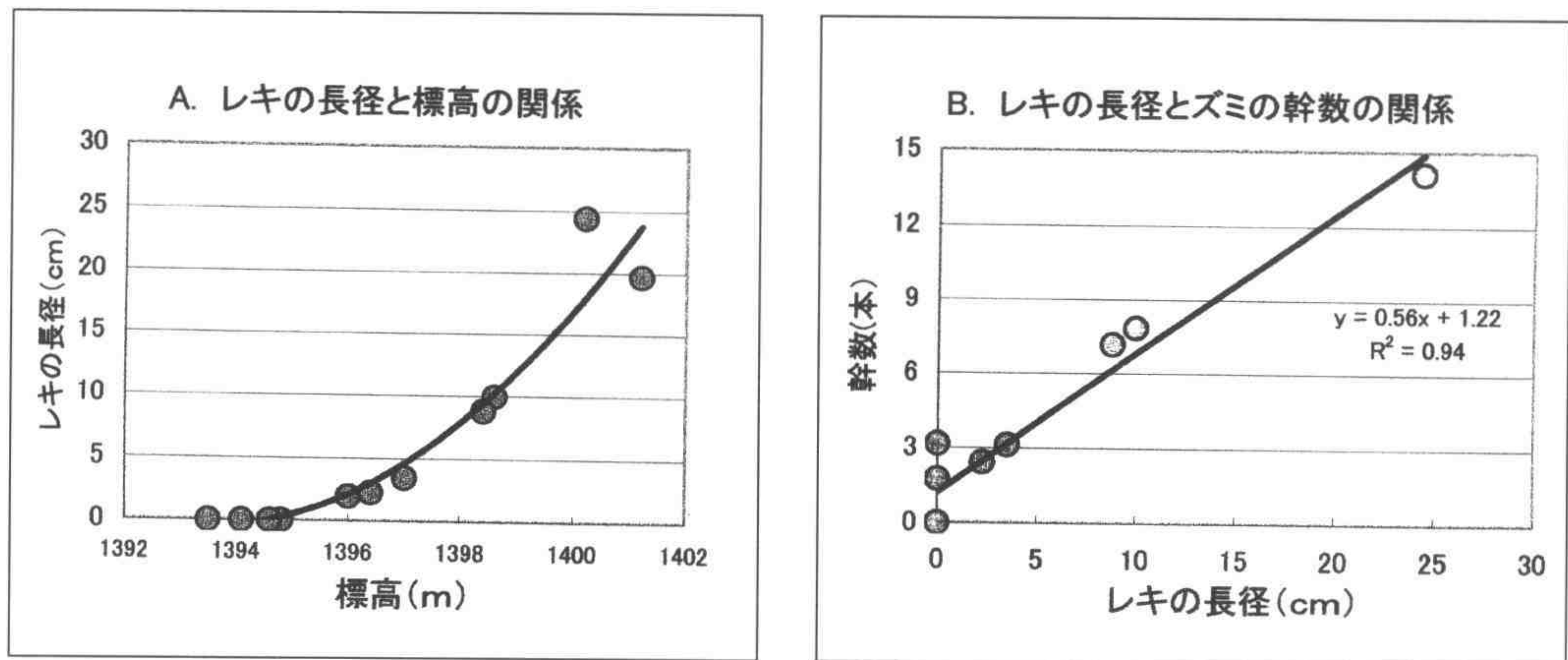


図4.レキの分布とズミの株あたり幹数の関係

3. 土壌表層の温度と湿度

図5は、各地点の土壌表層の温度と湿度をあらわしている。湿原内部（H・I地点）では表層に水がにじみ出ていた。湿原内には水が供給されており、乾いてはいないことが分かった。逆川からの水は、G地点辺りから湧き出ており、湿原へ水が供給されている。しかし、G地点は過去に土砂が流入した痕跡があり、低木の侵入が多くなっていた。土砂の流入により湿原の草本群落は減少し、低木が侵入してきたと考えられる。

日光が葉にさえぎられ地面まで入射しないと、地面の温度が上がらず、土中の水分の蒸発が少なくなる。H・I以外の8地点では日光がさえぎられるために相対的に地表の温度があがらず湿度が高いと考えられる。

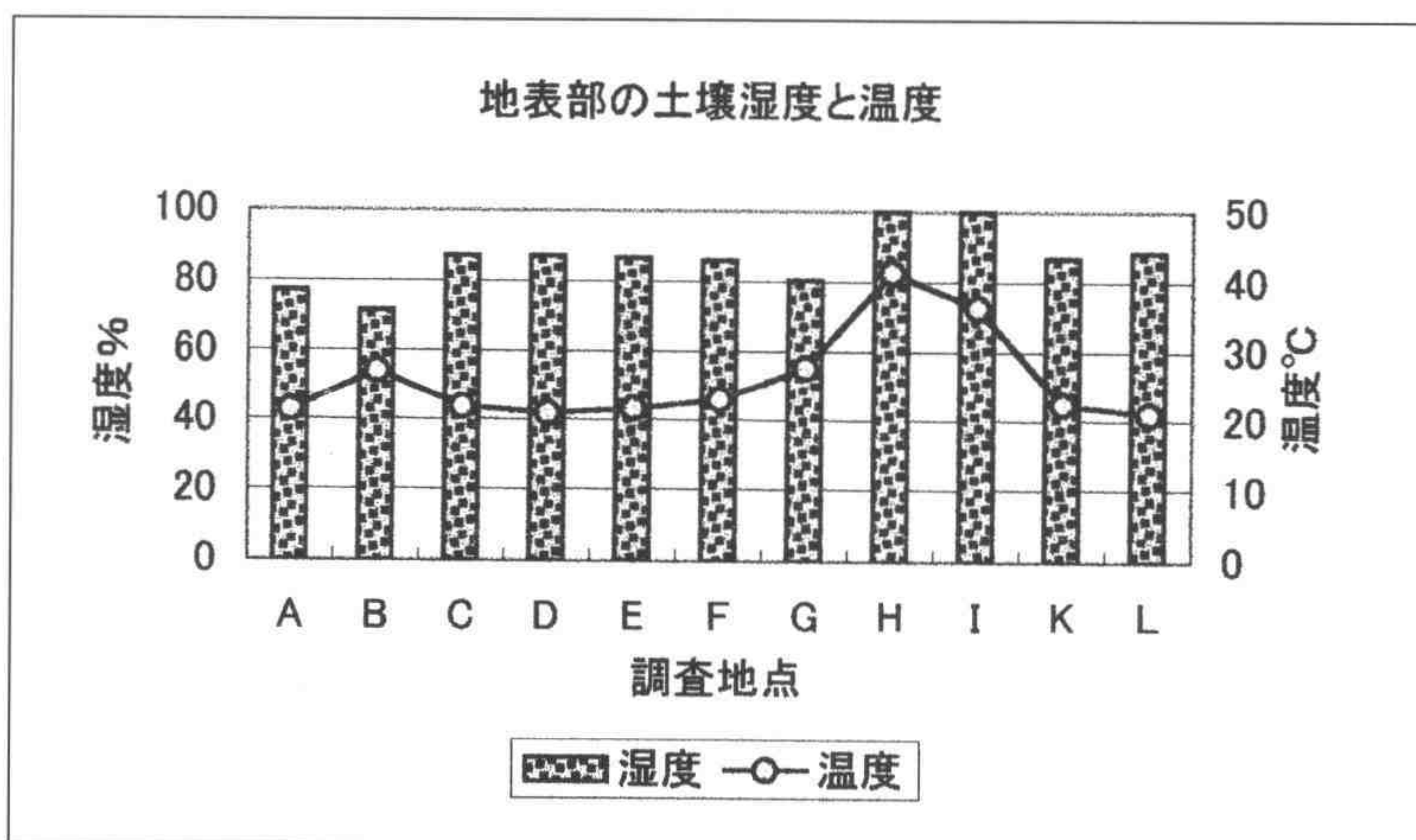


図5.地表部の土壌温度と湿度

以上のことから湿原周辺部には常に流入する水があり、現在のところ、湿原が乾燥することによって森林化することはないと考えられる。しかし、土砂の流入により湿原面が高くなると地下水位の変動をまねくので、湿原の植生が変化すると考えられる。

終わりに

調査の結果から、日光戦場ヶ原には、森林化の原因として考えた3つの仮説のうち「湿原内に低木が侵入している」という仮説が当てはまっていることが分かった。戦場ヶ原湿原の森林化は、草原、低木林、陽樹林（シラカンバ）の過程で遷移することが予想できた。湿原の周辺から内部にかけて森がじりじりと動いているように感じた。

シラカンバは、1本立ちの樹木で、レキの湿原への流入を防ぐはたらきはない。ズミ林が衰退し、シラカンバが増えると、土砂が湿原内に直接侵入することになる。このまま湿原に手を加えることをしなければ、湿原はやがて、シラカンバとカラマツの林に変わってしまうだろう。やがて、湿原は土砂で埋まり、林は周囲にある針葉樹林へと遷移すると考えられる。

シラカンバが増加するとズミが減少する。湿原にとって、この植生の変化は危険である。湿原は自然の法則により遠い将来は消える運命であるが、現状を少しでも長く保とうとするなら、ズミ林の保護とシラカンバの駆除が必要になると考える。

調査から、自然が刻々と変化していることを知らされた。日光でそのことを経験するまでは、自然が変わってしまうのはヒトが手を加えるせいだと思っていた。しかし、その考えは誤りであったと分かった。自然は自ら変化しており、ヒトはその助長をしたり破壊をしたりしている。だから、単に自然に手を加えないという保護は、自然を自然のままに放置しているだけで、自然を現状のまま保とうとしていることにはならないことを知った。自然を現状のままに保とうと思ったら、自然が変わってしまう原因を突き止め、そこにヒトが手段を講じなければならないのだ。ヒトが自然に手を加えることは危険なことである。一つ間違えれば守るはずの自然を崩してしまうことになりかねない。自然保護とはそういう危険なものなのだと思う。自然保護には研究にもとづいた科学的資料と覚悟が必要である。今回私達が日光で学んだことは、自然を理解していく上で、大変重要なことである。自然は、その状態の変化を遅くすることは出来ても、止めることは出来ない。それが今回の調査の感想である。

参考文献

太田次郎・丸山工作他12名著，高等学校生物I B改訂版，p 267－272．

田中隆荘・田村道夫・田中昭男監修，総合図説生物，第一学習社出版，p 172．

牧野富太郎，1988．改定増補 牧野新日本植物図鑑 北隆館，東京．