

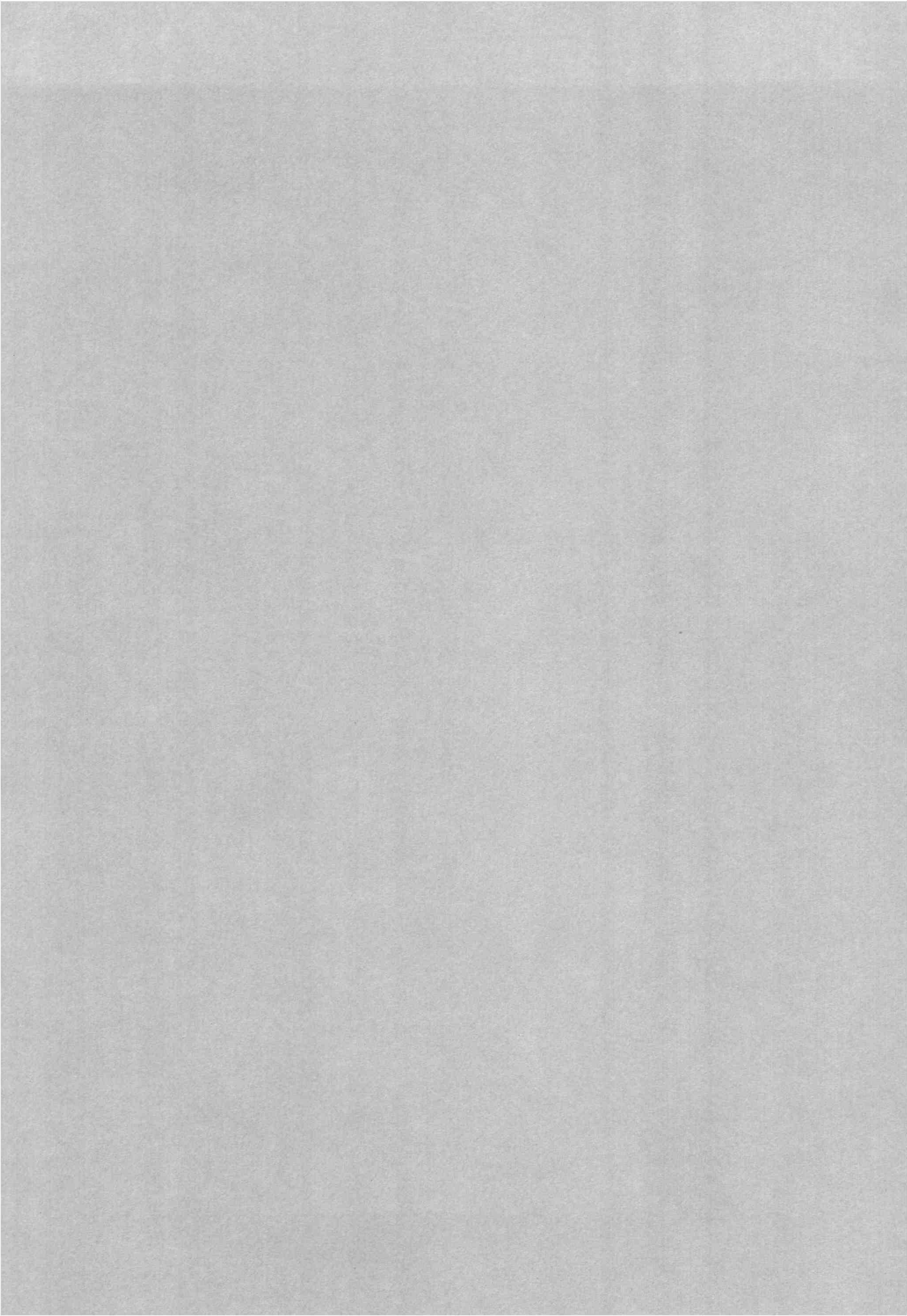
生徒の研究論文

岡山県立岡山朝日高等学校

—岡山朝日研究紀要第20号—

別冊付録

1999年3月



ドングリの背比べから身近な森の遷移を考える

岡山県立岡山朝日高等学校

2年A組 小河原明恵

2年I組 大前 彩

要 旨

我が校の背後には操山があり、そこには落葉樹と常緑樹のドングリの樹が混生する森がある。この森は次第に常緑樹の森へ遷移すると考えられる。そこで、遷移の原因がドングリの成長様式の違いにあると仮定し、4種類のドングリの実生の成長を比較した。ドングリは操山の森で採取し、ポットに植え、それらの発芽時期を調べた。また、実生の成長は半年後に根・幹・葉の乾燥重量を測定して比較した。

発芽時期は、落葉樹のアベマキ、コナラ、そして常緑樹のアラカシ、スダジイの順に早かった。これらの実生の初期成長を整理すると次のようになった。

- ・アベマキは発芽が早く、地下部を充実させながら伸長するが、ドングリの栄養分を完全には消耗しない。
- ・コナラはドングリの栄養分を完全に消耗し、主に地上部の葉を発達させる。
- ・アラカシは地下部の根に投資するが、樹高の伸長も速い。
- ・スダジイは発芽が遅く、地下部の根に多く投資している。

地上部と地下部の重量比（T/R比）は、樹高の伸長に伴って変化し、その増加係数は、種によって異なっていた。落葉樹ではコナラ、常緑樹ではアラカシが高い値であった。

このような発芽時期のずれと器官への重量配分の違いから、樹木の成長は落葉樹のアベマキが最も優位になり、次に落葉樹のコナラ、そして常緑樹のアラカシ、スダジイという順になると考えた。これは、今日の操山の植生の状態と一致し、将来は常緑樹のドングリの森へ遷移していくことを予想させる。



図1 学校背後の操山の森（12月）

動機と目的

私たちの学校の背後には、岡山市の生活環境保全林やレクリエーション林となっている操山がある。この森は、かつてアカマツ林であったが、松枯れにより今ではドングリやクスノキの森に変わってきている。長い歳月が経てば森は遷移するものだと単純に思っていたが、樹木の成長様式の違いがこれに関わっているのではないかと考え始めた。

操山には4種類のドングリが生育することを知り、それらの発芽と実生の成長を比較することにした。ドングリの実生における根・幹・葉への重量配分の比較からドングリの種による成長戦略の特徴を明らかにしたいと考えた。

方 法

1. 材料

4種類のドングリは、落葉広葉樹のアベマキ、コナラと常緑広葉樹のアラカシ、スダジイで、操山の森で1997年の10月から12月に採集した。それらの内から虫害のない種子を選び、山土を入れた直径9cm×深さ7cmのビニールポットに1個ずつ植え、各種30ポットずつを準備した(1997年12月10日)。ポットは校舎の南側の陽当たりのよい場所におき、乾燥しないように2日おきにジョウロで水をやった。

2. 形質の測定

実生の形質は、植えてから約6ヶ月が経過した1998年6月上旬に行った。実生の根、幹、葉と実の器官別にその乾燥重量を計測した。また、樹高、根長、葉枚数を調べた。乾燥重量は、一昼夜100℃で乾燥させた後、ドングリと根、茎、葉に分けてそれぞれの器官の重量を測定した。各形質の測定は、個体差はみられたが、正常に成長していると思われる個体を選び、アベマキで14個体、コナラ21個体、アラカシ15個体、スダジイ20個体で行った。葉面積は葉をコピーし、その紙の重量から面積を計算して求めた。

3. データの分析

計測した8つの形質の数値を、エクセルの統計分析ソフトに入力し、形質間の相関関係を調べた。相関係数が0.6以上ある形質間で、グラフを描き、その回帰式を求めた。次に、回帰式を用いて考察した。

結果と考察

1. 発芽について

アベマキは12月から発芽するものがあつた。コナラとアラカシは2月頃から芽生え始めた。しかし、スダジイは4月頃から芽生えた。このことから、種によって異なる休眠期間があり、その長さはアベマキではほとんど無く、コナラとアラカシでは3ヵ月程度、スダジイでは約半年間ではないかと考えた。

発芽率は、アベマキで100%、コナラで70%、アラカシで100%、スダジイで100%であつた。図2は、実験ポットに芽生えた4種の実生の1998年6月上旬の状態である。アベマキが大きいのは、芽生え時期が早く、測定した6月上旬までに成長期間が長かったためである。

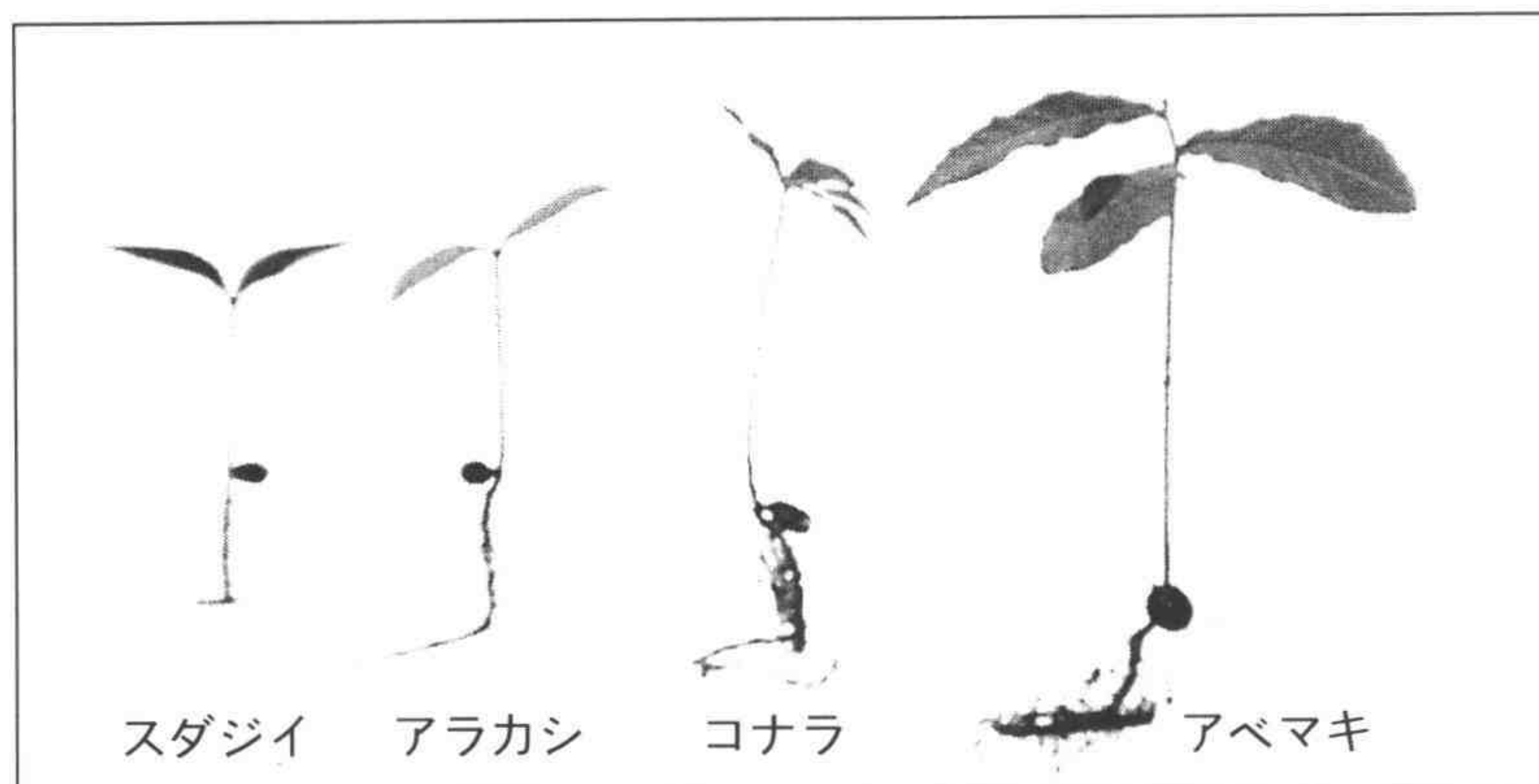


図2 ドングリの芽生えの比較

発芽時期はアベマキ、コナラ、アラカシ、スダジイの順に早く、6月上旬の測定時の状態である、アベマキ・コナラは落葉広葉樹、アラカシ・スダジイは常緑広葉樹である。

自然状態でも実験ポットと同様な成長の差が確認された。そこで、ポットに植えた4種の実生において成長の違いを比較することに意味があると考えた。今回は環境条件と発芽率や成長の関係ではなく、同じ環境で芽生えた実生の成長について比較した。

2. 実生の成長と形質間の相関関係

図3は、6月上旬の実生の乾重量の平均値を示した。個体重量は、アベマキで最も大きく、コナラ、アラカシ、スダジイは同じ程度であった。しかし器官別に見ると、その重量配分は種によって異なっていた。アベマキは根と葉への配分が大きい、アラカシとスダジイは根への配分が大きく、コナラは各器官への配分に偏りはみられなかった。

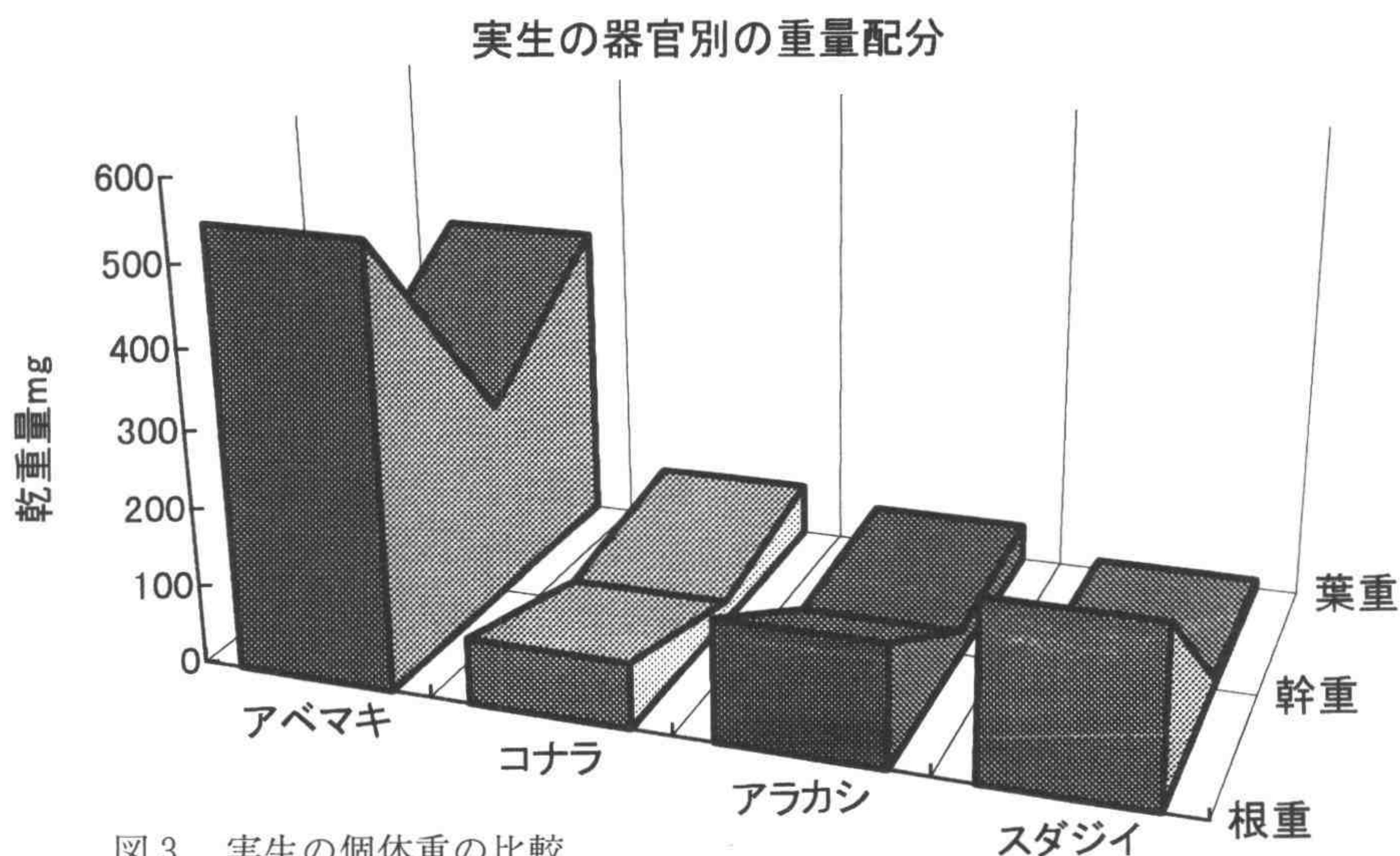


図3 実生の個体重の比較

6月上旬の測定時の状態で、測定個体の平均で示した。

測定個体数は、アベマキ=6、コナラ=10、アラカシ=6、スダジイ=9である。

表1には、ドングリに残存する実重と樹高、葉枚数の平均値を示した。アベマキは、樹高が14 cmで最も高く、葉枚数は4.7枚であった。コナラとアラカシでは、樹高が5 cm程度で、葉枚数は約2枚であった。スダジイは樹高が低く、展葉は遅れていた。発芽前の実重と残存実重を比べると、貯蔵栄養分は減少していた。

表1 6月上旬の実生の形質の比較

樹 種	実 重 mg	残存実重mg	植物体重mg	樹 高 cm	葉 枚 数
ア ベ マ キ	2 6 1 3	5 8 6	1 1 9 3	1 4 . 1	4 . 7
コ ナ ラ	6 2 6	2 5 4	1 7 7	4 . 2	2 . 1
ア ラ カ シ	6 8 0	3 5 2	2 3 1	5 . 9	2 . 2
ス ダ ジ イ	4 4 4	1 5 4	2 4 8	3 . 1	0 . 4

重量は乾燥重量で表す。個体重量はドングリは除いた重量を表す。実重は殻を含まない発芽前の重量である。測定個体数は、アベマキ=6, コナラ=10, アラカシ=6, スダジイ=9で、それらの平均値を示す。

これらのことから、ドングリの貯蔵養分を消費して実生は成長するが、器官別の重量配分は種によって異なることがわかった。

表2には、測定した8形質の間での相関関係を示した。アベマキで、樹高の伸長に対して正の相関を示したのは、幹重量（相関係数0.90）と個体重量（ドングリ部分は除く、相関係数0.78）で、実重量（殻は除く）は負の相関（-0.71）を示した。つまり、貯蔵養分を消費して樹高と個体重量が増加していた。また、コナラ、アラカシにおいても同じ傾向がみられた。

アベマキ、コナラ、アラカシにおいて、個体重量に対し正の相関関係があった形質は、根重量と葉重量で、実重量には負の相関がみられた。つまり、個体重量の増加には根や葉の発達が関係すると考えられた。スダジイでは、個体重量は根重量に正の相関、実重量に負の相関を示したが、葉重量との相関は明らかではなかった。それは、計測時にまだ展葉していない個体が多かったためと考えられる。

3. 樹高・根・葉の成長

図4では、個体重量の増加に伴う樹高・根・葉の成長の様子を4種で比較した。樹高の伸長は、コナラ、アラカシ、アベマキの順で高くなった。葉の重量は、コナラ、アベマキ、アラカシの順であった。また、根の重量は、スダジイ、アラカシ、アベマキ、コナラの順に増加した。このように、個体重量の増加に伴って、どの器官がよく発達するかは種によって異なっていた。

落葉樹のコナラとアベマキは葉の重量増加が常緑樹のアラカシとスダジイよりも大きく、成長の初期から物質生産を始めていると考えられる。コナラは樹高の伸長と葉重量の増加が速いので、光の獲得に重点を置いた成長戦略をとると考えられる。一方、常緑樹では根の重量増加が落葉樹よりも大きいので、地下部の充実に重点を置いた戦略をとると考えられる。しかし、アラカシでは、樹高の伸長が落葉樹のアベマキよりも速く、高さ競争にも重点を置いていると考えられる。

表2 形質間の相関関係

アベマキ

	樹 高	根 長	幹 重	根 重	葉 重	葉枚数	個体重	実 重
樹 高	1							
根 長	0.63	1						
幹 重	0.90	0.43	1					
根 重	0.68	0.70	0.64	1				
葉 重	0.79	0.55	0.82	0.89	1			
葉 枚 数	0.83	0.60	0.68	0.66	0.75	1		
個 体 重	0.78	0.66	0.78	0.97	0.96	0.73	1	
実 重	-0.71	-0.60	-0.57	-0.43	-0.56	-0.77	-0.52	1

コナラ

	樹 高	根 長	幹 重	根 重	葉 重	葉枚数	個体重	実 重
樹 高	1							
根 長	0.78	1						
幹 重	0.79	0.57	1					
根 重	0.75	0.86	0.69	1				
葉 重	0.63	0.50	0.56	0.57	1			
葉 枚 数	0.64	0.57	0.60	0.67	0.75	1		
個 体 重	0.82	0.76	0.80	0.88	0.87	0.80	1	
実 重	-0.67	-0.58	-0.69	-0.63	-0.80	-0.74	-0.83	1

アラカシ

	樹 高	根 長	幹 重	根 重	葉 重	葉枚数	個体重	実 重
樹 高	1							
根 長	0.39	1						
幹 重	0.85	0.11	1					
根 重	0.75	0.38	0.71	1				
葉 重	0.79	0.24	0.88	0.78	1			
葉 枚 数	0.35	-0.56	0.45	-0.02	0.06	1		
個 体 重	0.84	0.35	0.89	0.93	0.96	0.12	1	
実 重	-0.85	-0.67	-0.64	-0.70	-0.82	0.18	-0.82	1

スダジイ

	樹 高	根 長	幹 重	根 重	葉 重	葉枚数	個体重	実 重
樹 高	1							
根 長	0.55	1						
幹 重	0.90	0.55	1					
根 重	0.20	0.69	0.23	1				
葉 重	0.43	0.21	0.23	0.14	1			
葉 枚 数	0.49	0.21	0.27	0.12	0.98	1		
個 体 重	0.36	0.75	0.39	0.98	0.28	0.27	1	
実 重	-0.34	-0.50	-0.36	-0.57	-0.30	-0.28	-0.62	1

相関係数が0.6以上の場合に正の相関関係があり，-0.6以下の場合に負の相関関係がある。

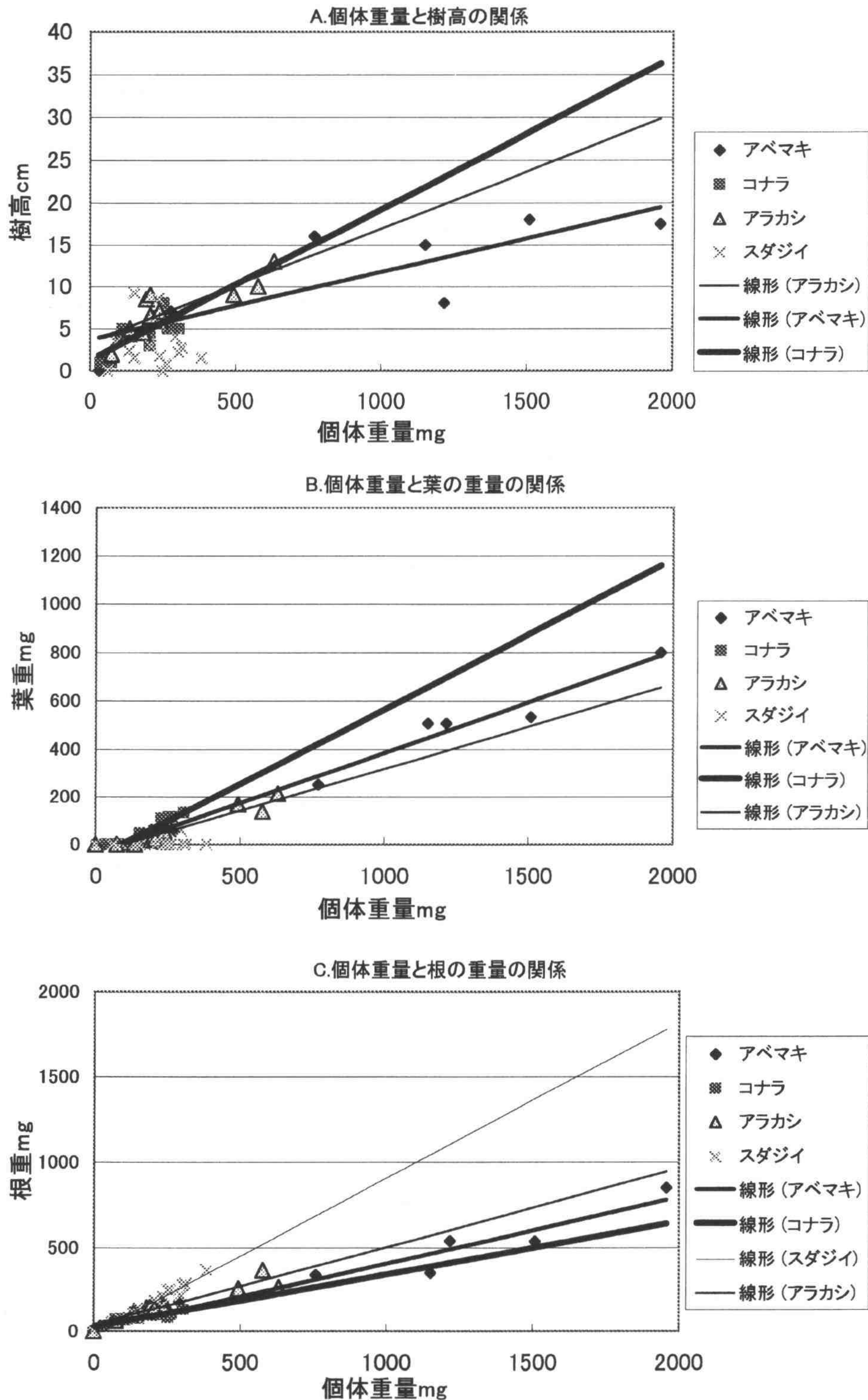


図4 個体重量と樹高および葉・根重量との関係
 重量は乾燥重量で表す。

4. ドングリの消費と成長との関係

実生の個体重量の増加と実重量の減少の関係を図5に示した。アベマキは最も大きなドングリで、個体重量の増加に伴って急激にドングリ重量が減少した。しかし、個体重量が約1500mgのときの残存重量は約500mgで、それ以上はあまり減少しなくなっていた。

コナラ、アラカシ、スダジイでは、指数関数的に実重量が減少した。コナラでは、最も急激に貯蔵養分が消費されていて、個体重量が約1000mg（樹高約20cm）で完全に消耗されることが予想された。アラカシは徐々に貯蔵養分を消費して、個体重量が約2000mg（樹高約30cm）になるとほとんど消耗すると予想された。スダジイは、実重量が最少であるが、貯蔵養分の減少はアラカシと同じ傾向がみられ、個体重量が約1000mgになると完全に消耗されることが予想された。しかし、スダジイの実生では根の重量が大きい（図3）ので、栄養分のすべてが消費されているとは思われない。

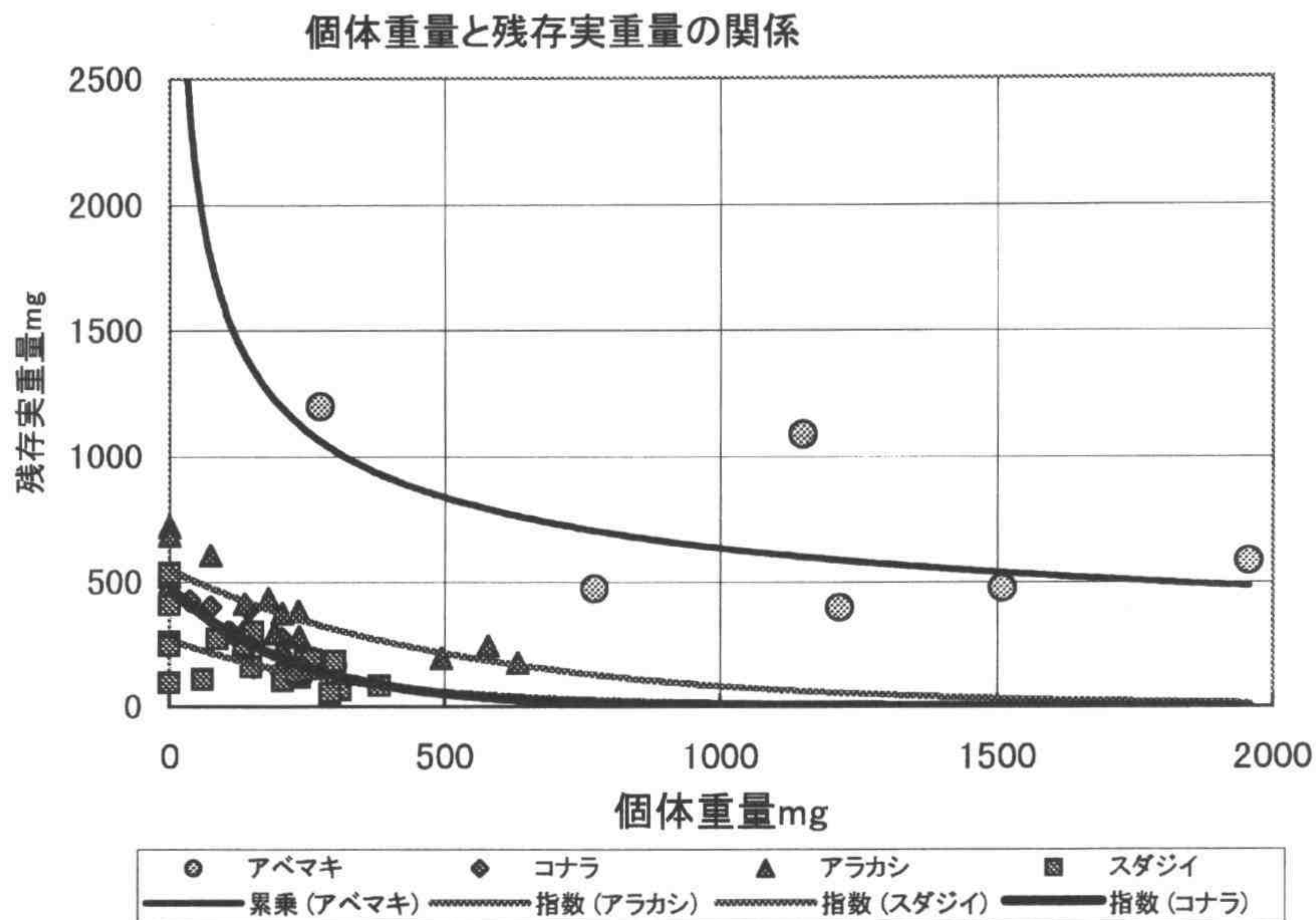


図5 個体重量と残存実重量の関係

重量は乾燥重量で表す。実の重量には殻を含まない。

コナラとアラカシでは貯蔵養分は実生の成長に消耗されるが、アベマキでは約20%は残存しているので、養分を使いきらないで物質生産をしていることになる。そこで、アベマキのドングリの役割は、他の種とは異なっていると考えられる。また、スダジイは成長初期に根への重量配分が高いので、一時的に根に養分を移動すると予想できる。このように、ドングリに含まれる貯蔵養分の利用方法とドングリの役割には種によって違いがみられた。

5. 器官別の重量配分の比較

各器官への重量配分は、成長に伴って変化することが予想されるので、まず根、及び根・幹への重量配分を調べた（図6）。発芽の初期の段階は根への配分がほとんどであったが、樹高が伸びると根・幹への配分率は低下した。それは、葉の展葉が始まったためであった。樹高が8 cm当

たりになると、4種とも配分率は安定した。そこで、樹高約8 cmの個体で地上部の地下部に対する比（T/R比）をとると、コナラで2.0、アベマキで1.0、アラカシで0.54、スダジイで0.47であった。コナラでは、地下部の2倍も地上部に投資しているのが目立っていた。落葉樹は地上部へ、常緑樹は地下部へという配分の傾向があった。次に、個体重量に対する根・幹・葉のそれぞれの器官が占める重量の配分割合を比較した（図7）。

葉への配分は、落葉樹ではコナラ46%、アベマキ42%と高く、常緑樹ではアラカシ23%、スダジイ17%と低かった。一方、根への配分は、アラカシとスダジイで高く、コナラは33%で最も低かった。幹への配分は、コナラが最も高く、21%であった。

このように、落葉樹は葉への配分割合が高く、常緑樹は根への配分割合が高いという傾向があった。つまり、落葉樹では成長初期から物質生産のために設備投資をしていた。それは、落葉樹の葉の寿命は約半年間で、物質生産できる期間が短いために、展葉を急いでいると考えられる。

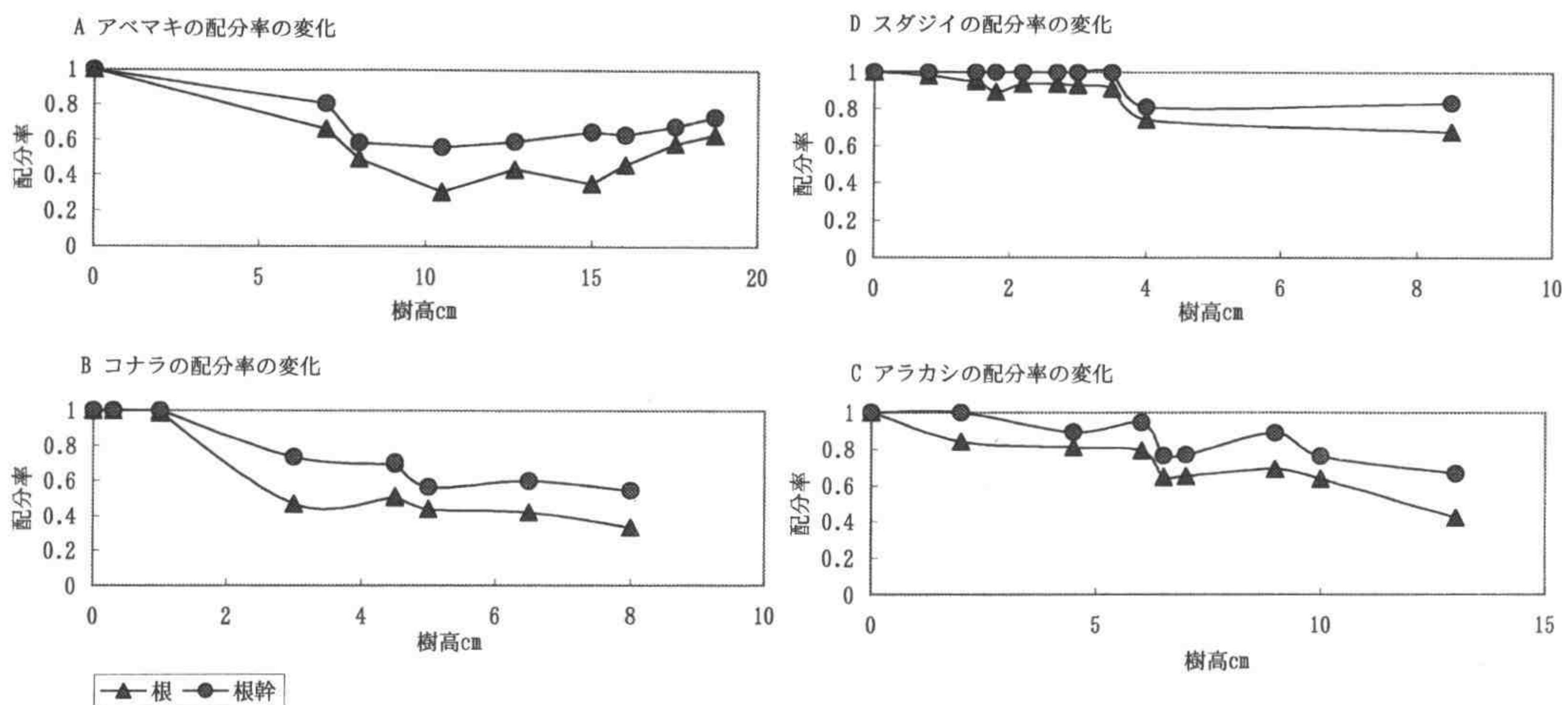


図6 根および根幹への重量配分の比較

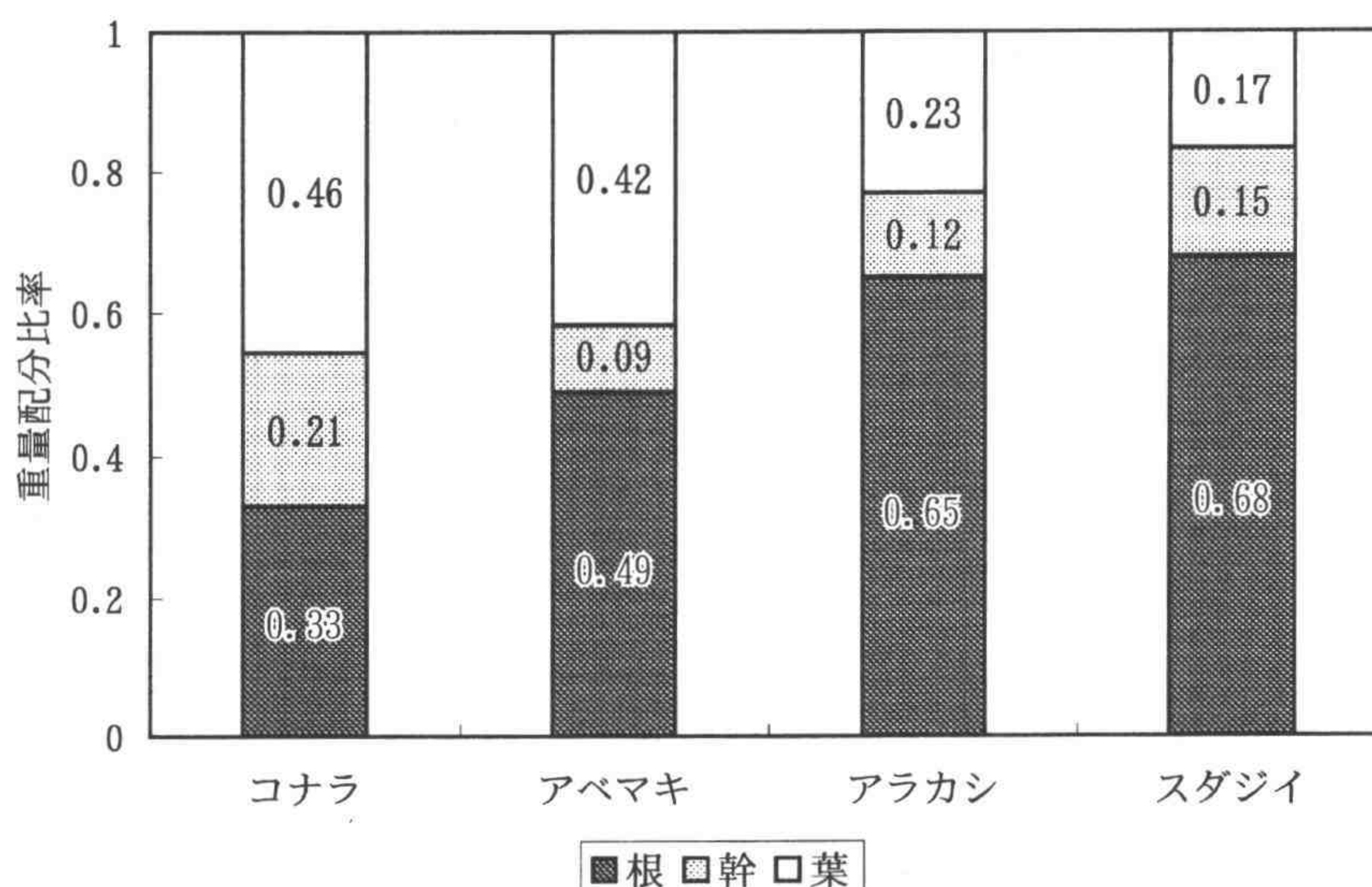


図7 樹高8 cm個体の重量配分

表3では、葉の形質を比較した。コナラの葉は単位面積当たりの葉重量が、3.29mg/cm²で最も薄く、スダジイの葉は5.81mg/cm²と最も厚い葉であった。落葉樹は常緑樹に比較して、展葉する葉の枚数と面積は多いが、その単位面積当たりの葉重量は少なくなっていた。つまり、落葉樹は葉の構造を薄くして総面積を広くしていると考えられる。

6. 実生の成長とT/R比の変化

地上では光を獲得する競争があるために成長初期における地上部への重量配分は生存上重要な問題である。そこで、樹高の伸長とT/R比の関係を分散図に取り、その回帰式を求めた(図8)。

樹高の伸長に伴ってT/R比が増加する傾向は、すべての種で見られた。コナラでは、T/R比の増加が著しく、次にアラカシ、アベマキ、スダジイの順であった。コナラは樹高が5cmを越えるあたりから地上部への投資量が地下部の投資量を上回り、アベマキとアラカシは樹高が10cmあたりから地上部への投資量が多くなった。

表3 葉の形質の比較

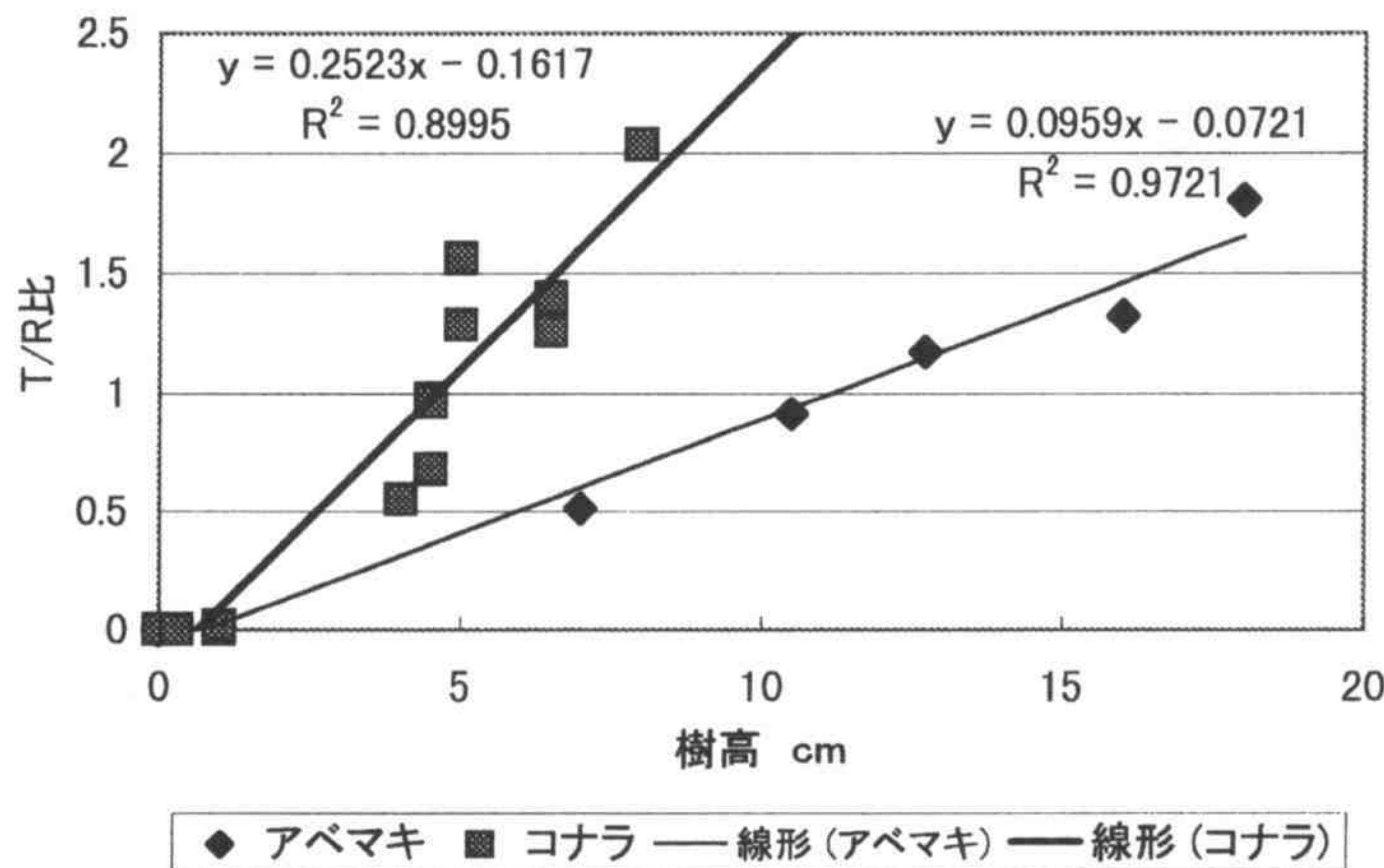
種 類	樹 高cm	葉枚数	葉面積cm ²	葉重mg/cm ²
ア ベ マ キ	22	4	138.2	3.54
コ ナ ラ	11.9	4	33.2	3.29
ア ラ カ シ	9.3	2	27.1	4.80
ス ダ ジ イ	6.6	2	21.0	5.81

回帰式の係数は、表4のように落葉樹のコナラで最も高く、アベマキは常緑樹のアラカシよりもやや小さい値であった。発芽時期がすべての種で同じであれば、この係数に従って高さ競争が展開されると考えられる。しかし、発芽時期は種によって異なるために、成長戦略の違いは発芽時期と器官への重量配分に関係していると考えられる。樹高の伸長とT/R比の関係をあらわす係数は、それぞれの種の初期成長における特性を表していると考えられる。

表4 樹高の伸長とT/R比の関係

種 類	係 数	休 眠 期 間
コ ナ ラ	0.252	3ヶ月
ア ベ マ キ	0.096	無し
ア ラ カ シ	0.106	3ヶ月
ス ダ ジ イ	0.061	5ヶ月

A.落葉樹の樹高とT/R比の関係



B.常緑樹の樹高とT/R比の関係

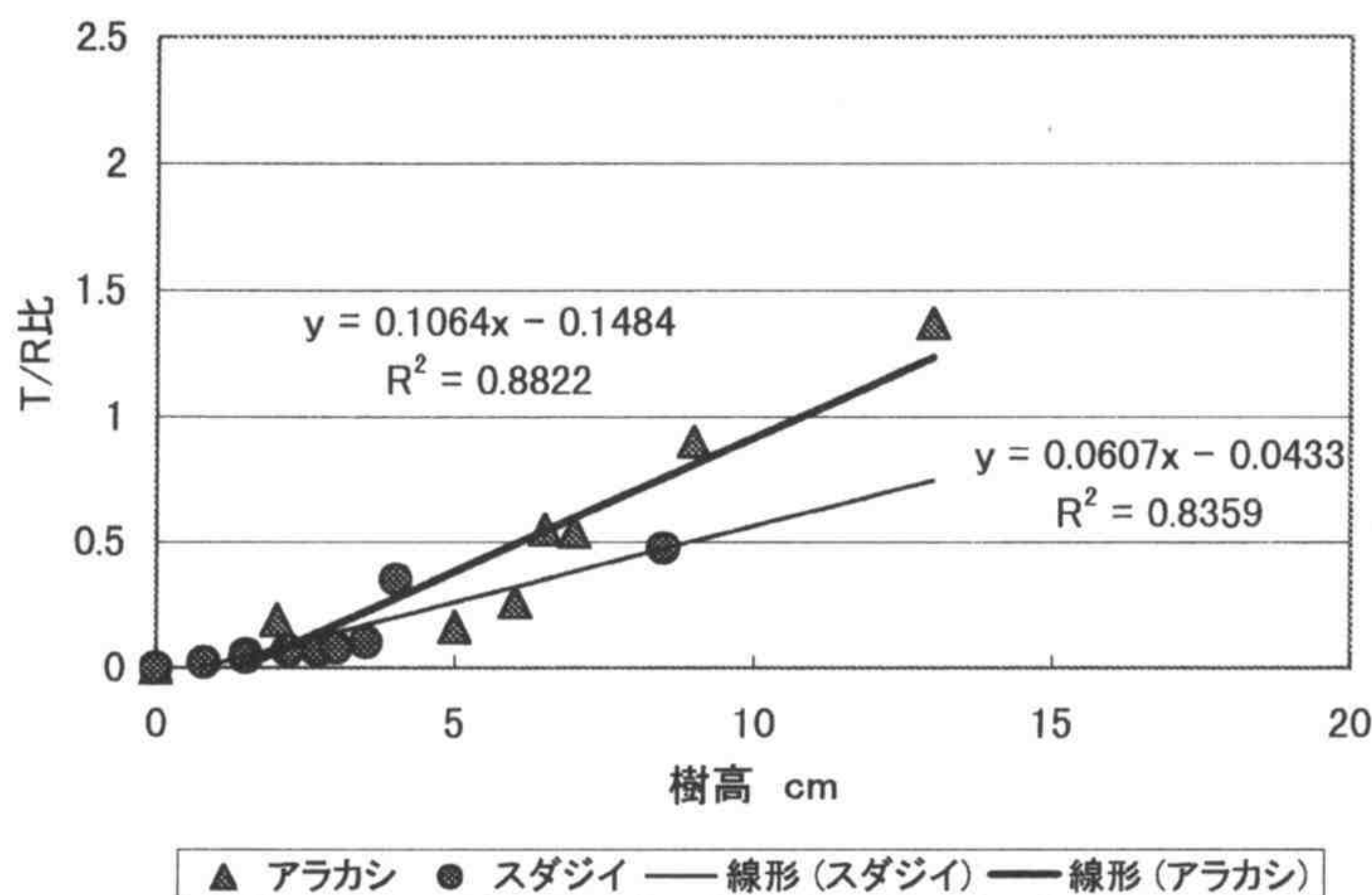


図8 T/R比の比較

4種の実生の成長を整理すると次のようになる。アベマキは発芽が早く、地下部を充実させながら伸長するが、ドングリの栄養分の一部は残されている。コナラはドングリの栄養分を完全に消耗し、地上部に投資することで主に葉を発達させている。アラカシは地下部へ多く投資しているが、樹高の伸長も速い。スダジイは発芽が遅く、地下部に多く投資している。

このように、発芽時期のずれと器官へのエネルギー投資の割合の違いから、結実の翌年には実生の成長状態は、落葉樹のアベマキが最も優位に成長し、次に落葉樹のコナラ、常緑樹のアラカシ、スダジイという順になったと考えられる。

自然の森では、立地によって光・温度・水分の条件が大きく異なるために、それぞれの種の成長競争は今回の実験結果と同じとは限らない。しかし、地上部投資型のコナラは、アベマキと成長競争をし、アラカシは地下部投資型のスダジイよりも速く伸長するであろう。落葉樹は、常緑樹よりも成長が速く、常緑樹に先立って森に優占すると考えられる。

7. ドングリの初期成長と森の遷移の関係

操山の森では、落葉樹のアベマキやコナラが高木層に優占し、常緑樹のアラカシが亜高木層や林床に生育する。また、常緑樹のスダジイは斜面中部の一部にしか生育せず、高木もあるが多くは林床の低木である。

落葉樹と常緑樹で比較すると、落葉樹のコナラとアベマキでは葉への投資に重点が置かれ、常緑樹のアラカシとスダジイでは根への投資割合が高い。そこで、裸地にこれらの樹種が同時に侵入した場合には、落葉樹が先に成長して森を形成し、その後にアラカシ、そしてスダジイが成長してくると思われる。

今日の、操山の状態は落葉樹と常緑樹が混生し、次第に常緑樹の森へ遷移する段階にある。この現状は、今回の実験結果とよく合致している。個体の寿命や台風・伐採などで、コナラやアベマキが倒れると、林床にある常緑樹のアラカシやスダジイが成長するだろう。まず、伸長成長の速いアラカシが優占し、その後スダジイ林へ遷移すると考えられる。

感想

樹木を見るときはその緑に関心を持っていたが、実は普段気にしていない地下部に地上部を支えている根があることに今回改めて気づいた。また、一口にドングリと言っても、種類によって成長の仕方が違っているなどその性質の巧妙さに驚いた。将来は、水や光の条件を変えての実験や、アベマキのドングリがいつまで残っているのかについて調べてみたいと思う。また、卒業の10年後、20年後に操山の森を実際に歩いて森の状態を確認してみたい。それまで操山に自然の森が残されていることを願っている。

末筆ながら、実験や論文の作成に当たり終始丁寧な指導をしてくださった高橋和成先生に感謝します。

参考文献

- 嶋一徹他 (1997), コナラ・アベマキ実生成長における種子貯蔵窒素の役割について 第28回日本緑化工学会研究発表要旨集 pp.141-144.
- 西村尚之・太田武志他 (1998), コナラとアベマキの実生の成長に及ぼす光と土壤水分の影響 J. Jap. Soc. Reveget. Tech. 23(4), 220-227.

'98しし座流星群の観測報告

岡山県立岡山朝日高等学校 物理部

下野 貴章 平松 正顕 渡 元
中谷 真輔 西江 正浩 石原 久司
伊藤 友祐 櫻井 恵一 森腰 亮

要 旨

1998年11月17日深夜から翌日早朝にかけて、しし座流星群が極大を迎えた。'98年のしし座流星群は、その母彗星“テンペル＝タットル彗星”が約9ヶ月前に地球の軌道付近を通過しているため、33年ぶりの活発な活動が期待されていた。そのため、“しし座流星群・全国高校生同時観測会”が計画され、我々物理部もその企画に参加し、眼視と写真の両面から観測を行うことにした。眼視観測では、1時間当たりの流星数（計数観測）、流星の光度（光度観測）、流星痕（流星痕観測）の観測を行い、写真観測で眼視観測を補うことにした。当日は天候が悪く、たびたび全天が雲に覆われたり、寒さのためカメラのシャッターがきれなかったり、また、車のヘッドライトによる観測妨害があったりと十分な観測を行うことができなかった。さらに、活動のピークが予測より早く、日本では予想したほどの活動は見られなかった。しかし、日本での活動の様子や流星群の特徴など、一定の成果を得ることができ、“しし座流星群・全国高校生同時観測会”にも観測結果を報告することができたので、ここにその結果をまとめる。

観測の動機

しし座流星群を引き起こす母彗星“テンペル＝タットル彗星”が、'98年2月に地球の軌道付近を通過し、多くのチリ状物質を地球の軌道上に残した。そのため、'98年のしし座流星群は33年ぶりの活発な活動が期待された。また、月齢が29.1と新月に近いうえ、流星群の活動のピークが日本の夜と一致し、日本にとってはこの上ない条件が整っていた。このしし座流星群は過去に何度も流星雨の出現記録があり、近年では、1965年に日本で毎時170個以上の流星が観測されている。また、その1年後にはアメリカ合衆国で一晩のうちに15万個余りの流星が流れたという記録もあり、'98年11月のしし座流星群でもピーク時には1時間に1000個以上の流星が流れる“流星雨”が見られるのではないかと予測された。そして、この流星群を全国の高校生の手によって観測しようと、天文教育普及研究会を中心とした実行委員会により“しし座流星群・全国高校生同時観測会”が計画され、ホームページ⁽¹⁾等で呼びかけられた。専門家による高度な観測器械を

用いた観測は、少数の観測ポイントしかなく、流星物質の物性、軌道などの詳しい研究には良いが、流星物質の詳細な分布を確かめるには不十分である。そこで、北海道から、小笠原、沖縄に至る日本列島全域をカバーして、しし座流星群の空間的な分布を解明しようとするこの企画が計画されたのである。我々物理部員には流星観測を経験した者はほとんどいなかったが、今世紀最後の“流星雨”を観測し、そのデータをしし座流星群の研究に役立ててもらおうと、空の暗い美星町の“星の里ふれあいセンター”で観測を行うことにした。

観測の目的

流星の出現数は、母彗星から放出されたダストの量やその空間密度の時間変化と関係がある。流星群は、母彗星から放出されたダストのチューブを地球が横切っていく時に見られるので、流星の計数観測により、そのチューブの構造やダストの空間分布を調べることができる。この観測を精度よく行うためには、多くの観測者が広い地域に分散して観測する方がよい。“しし座流星群・全国高校生同時観測会”もこのような観点から計画されている。日本全国に散らばっている観測者によって、東西南北2,500kmの範囲で観測が成功すれば、流星群の詳細構造が明らかになると期待される。このような計画は世界的にも例を見ない初めての試みである。

我々はこのダスト（流星物質）の空間分布と質量分布、そして、しし座流星群の特徴を調べるため、眼視と写真の2つの方法で観測を行うことにした。

（１）眼視観測

観測 1 流星の計数観測……一定時間（5分間）に流れた流星の数を調べる。

観測 2 光度別計数観測……流星の明るさごとの流星数を調べる。

観測 3 流星痕観測……流星痕を持つ流星の割合（有痕率）を調べる。

眼視観測には精度に限界があるが初心者にも簡単に行えるという利点がある。眼視観測による流星の計数観測は、ただ一定時間に流れた流星の数を数えるだけであるが、この観測により流星ダストの分布を知ることができる。また、光度別計数観測と流星痕観測からしし座流星群の特徴（ダストの質量分布、物性など）を知ることができる。流星の明るさは彗星から放出されたダストの大きさ（質量）と関係があるので、明るさごとの流星数を調べることによって母彗星から放出されたダストの質量分布がわかるのである。

（２）写真観測

眼視観測に比べ、写真観測によるデータは客観的で、しかも、正確に測定することができる。ネガ上の流星像を調べることにより、眼視観測と同様の計数観測、光度別計数観測、流星痕観測を行うことができる。そこで、この写真観測で眼視観測を補うこととした。

眼視観測

（１）観測方法

観測者 a, b の2人が1つのグループとなり観測を行った。今回はこのグループを2組（Aグループ、Bグループとする）つくり、輻射点のあるしし座の方向を中心に独立して観測を行った。

準備物

記録用紙，ペンライト，時計，
星図（図2），筆記用具

観測の手順

- ①観測者 a が流星の観測を，観測者 b が計時・記録を行う。
- ②まず，観測者 a は星図を用いて確認できる限界等級と視野内の雲量（視野内の雲量の割合0-10）を調べ，観測者 b はそれを記録する。
- ③観測者 a は，視野内に流星が出現したこと，流星の光度，流星痕の有無を伝え，観測者 b は5分間での流星数を光度別に記録すると同時に，流星痕の出現数を記録する。
- ④次の5分間も同様の観測と記録を行う。

※流星の光度は，明るい（およそ－1等級以上），普通（およそ0から2等級程度），暗い（およそ3等級以下）の3種類に分類した。

- ⑤5分間休憩をとる（疲労がたまると注意力が散漫になる可能性があるため）。
- ⑥観測者 a と b の役割を交代し，②～⑤を繰り返す。

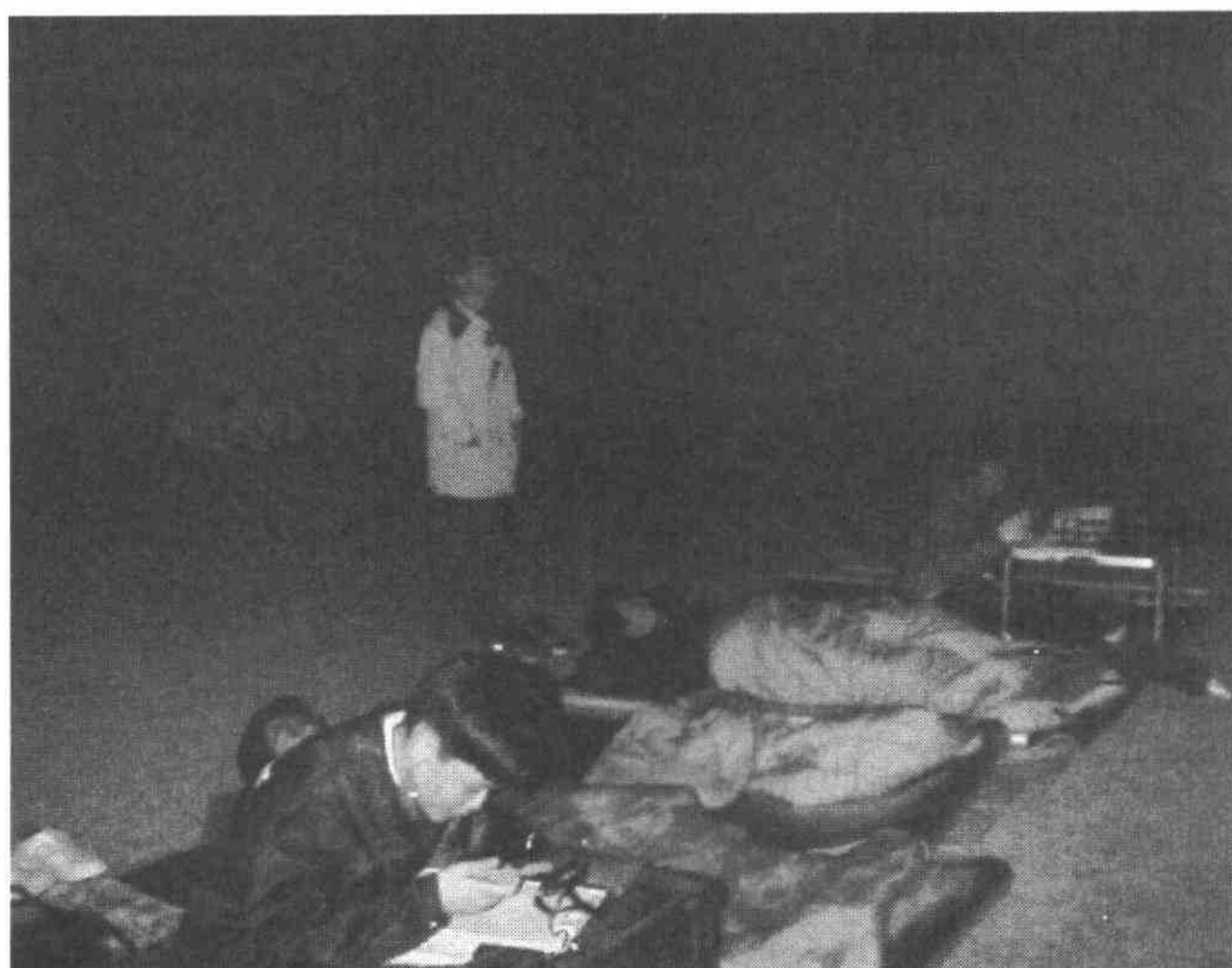


図1 観測の様子（眼視観測）

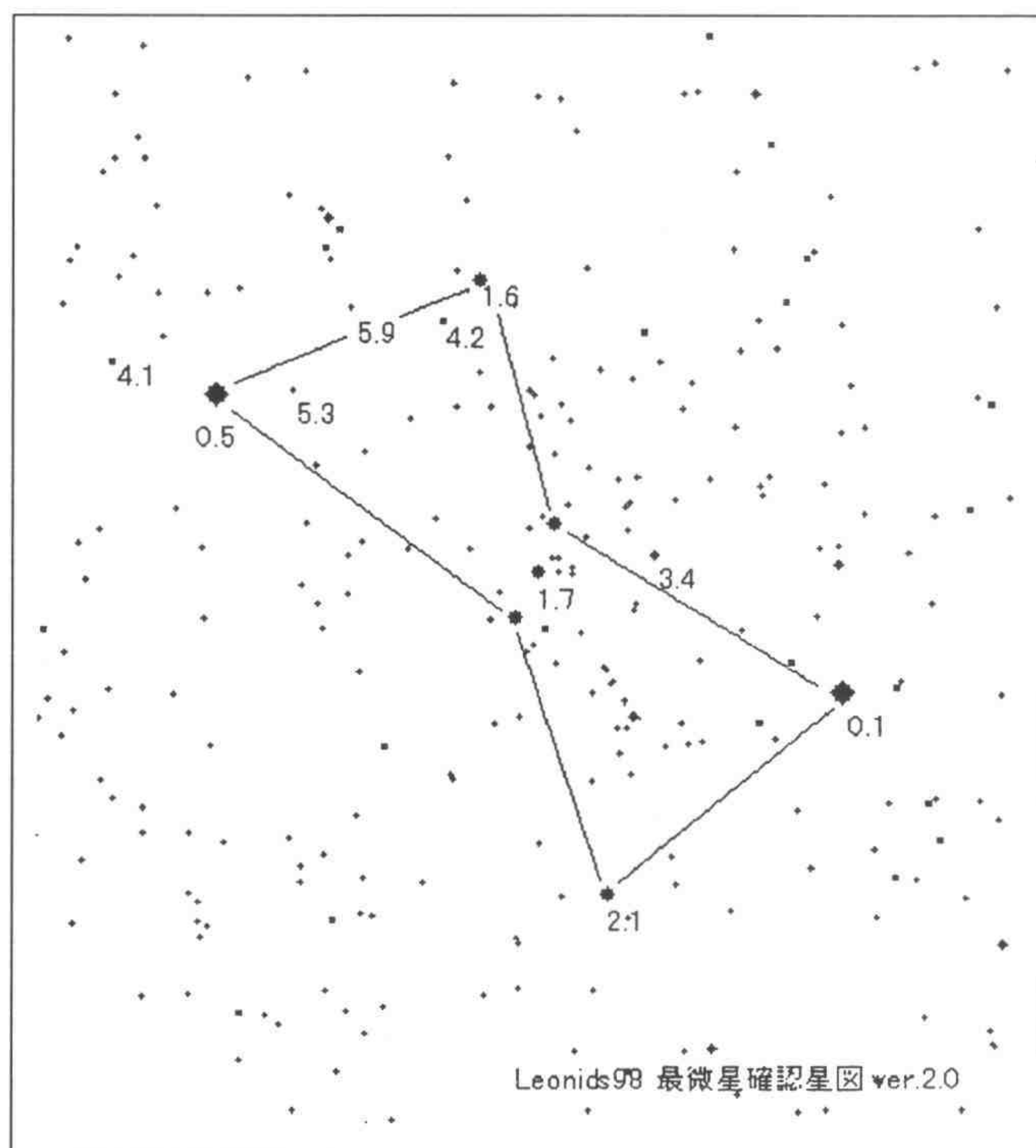


図2 限界等級決定用星図⁽¹⁾

(2) 観測結果

観測 1 計数観測

グループ A, B の観測結果を表 1 に、その出現数の変化を図 3 に示す。平均の欄はグループ A と B の平均であるが、一方のグループが休憩中の場合は他方の結果を入れた。観測した総流星数は A グループが 99 個、B グループが 75 個となり、予想されていた出現数を大きく下回る結果となった。

観測流星数は、様々な要因があるため正しい出現数とはいえない。一般に、流星の出現数は天頂修正出現数「ZHR」で表す。これを求めるため、次のような補正を行う。

HR (Hourly Rate 1 時間平均出現数) = (観測流星数 / 観測時間 (5 分)) × 60 [分]

CHR (Corrected Hourly Rate 修正平均出現数) = HR × (観測条件による補正值)

ZHR (Zenithal Hourly Rate 天頂修正出現数) = CHR × (輻射点高度による補正值)

ここで、

(観測条件による補正值) = (最微光星による補正) × (雲量による補正)

(最微光星による補正) = {光度比^{6.5 - 最微光星等級}} × {10 / (10 - 雲量)}

(輻射点高度による補正值) = 1 / sin (輻射点高度)

である。また、光度比 (1 等暗くなると流星数が何倍になるかという値) は、しし座流星群では 2.0 である。

補正にも限度があり、日本流星研究会では、通常最微光星が 4.5 等より悪い場合、雲量が 4 以上の場合、輻射点高度が 10 度未満の場合には集計対象から外すことになっており、ここでもその慣例に従うこととした。また、各グループで 10 分の観測の後、5 分の休憩時間をとったため、連続した観測とならず、また、A グループと B グループでもばらつきがあるため、ここでは 15 分当たりの A, B グループの観測数を元に補正を行った。その結果が表 2 であり、ZHR の時間変化をグラフにしたものが図 4 である。

“しし座流星群・全国高校生同時観測会”には、42 都道府県、276 グループ、約 2,300 名の高校生が参加してデータを得ることができた。図 5 は、これらのグループの内の 17 グループによる速報結果である⁽¹⁾。

観測 2 光度別計数観測

流星の光度を「明るい (およそ -1 等級以上)」 「普通 (およそ 0 ~ 2 等級程度)」 「暗い (およそ 3 等級以下)」 の 3 種類に分類して記録した。表 3, 図 6 は流星の明るさごとの平均総観測数に対する割合である。また、図 7 は明るさごとの流星出現数の変化である。

観測 3 流星痕観測

流星痕は、約 20% の流星に見られ (図 8), しかも、明るい流星ほど流星痕が残される割合が高かった。流星痕が消滅するまでの時間は計っていないが、長くて数秒程度であった。

時刻\グループ	雲量(0-10)			最微光星(等)			流星観測数												流星痕数 (内数)	
	A	B	平均	A	B	平均	明るいa		普通b		暗いc		合計(a+b+c)						A	B
24:00-24:05	7*		7.0	6	*	6.0	0*		0*		0*		0*		0.0			0*		
24:05-24:10	2	1	1.5	6	4	5.0	0	0	0	0	1	0	1	0	0.5			0	0	
24:10-24:15	*	1	1.0	*	5	5.0	*	0*	*	2*	0*		2		2.0	*		0		
24:15-24:20	1*		1.0	6*		6.0	0*		1*		0*		1*		1.0			0*		
24:20-24:25	*	1	1.0	*	5.5	5.5	*	0*	0*	0*	0*		0		0.0	*		0		
24:25-24:30	1	1	1.0	6	5	5.5	1	1	1	0	0	0	2	1	1.5			0	0	
24:30-24:35	1	2	1.5	6	5	5.5	1	1	0	1	1	1	2	3	2.5			1	0	
24:35-24:40	*	1	1.0	*	4.5	4.5	*	0*	0*	0*	0*		0		0.0	*		0		
24:40-24:45	1	1	1.0	6	5	5.5	3	0	0	0	0	2	3	2	2.5			1	0	
24:45-24:50	1*		1.0	6*		6.0	4*		1*		1*		6*		6.0			2*		
24:50-24:55	*	1	1.0	*	5	5.0	*	0*	0*	0*	0*		0		0.0	*		0		
24:55-25:00	0	1	0.5	6	5	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0			0	0	
25:00-25:05	2*		2.0	6*		6.0	1*		0*		0*		1*		1.0			1*		
25:05-25:10	*	3	3.0	*	5	5.0	*	0*	0*	0*	0*		0		0.0	*		0		
25:10-25:15	2	2	2.0	6	5	5.5	0	0	0	2	1	0	1	2	1.5			0	0	
25:15-25:20	2*		2.0	6*		6.0	0*		1*		0*		1*		1.0			0*		
25:20-25:25	*	1	1.0	*	5	5.0	*	3*	0*	1*		4		4.0	*		0			
25:25-25:30	3	3	3.0	6	5	5.5	1	4	0	1	2	0	3	5	4.0			1	0	
25:30-25:35	1*		1.0	6*		6.0	1*		0*		0*		1*		1.0			1*		
25:35-25:40	*	1	1.0	*	5	5.0	*	2*	1*	0*		3		3.0	*		2			
25:40-25:45	1	1	1.0	6	5	5.5	1	1	1	0	0	0	2	1	1.5			1	1	
25:45-25:50	0*		0.0	6*		6.0	0*		0*		0*		0*		0.0			0*		
25:50-25:55	*	1	1.0	*	5	5.0	*	2*	2*	0*		4		4.0	*		2			
25:55-26:00	0	0	0.0	6	5	5.5	1	0	3	4	0	0	4	4	4.0			0	0	
26:00-26:05	0*		0.0	6*		6.0	2*		0*		1*		3*		3.0			1*		
26:05-26:10	*	1	1.0	*	5	5.0	*	1*	1*	1*		3		3.0	*		0			
26:10-26:15	0	0	0.0	6	5	5.5	2	1	1	2	1	1	4	4	4.0			1	1	
26:15-26:20	0*		0.0	6*		6.0	0*		2*		1*		3*		3.0			0*		
26:20-26:25	*	0	0.0	*	5	5.0	*	1*	1*	1*		3		3.0	*		0			
26:25-26:30	0	0	0.0	6	5	5.5	0	1	1	3	0	1	1	5	3.0			0	1	
26:30-26:35	0*		0.0	6*		6.0	0*		1*		0*		1*		1.0			0*		
26:35-26:40	*	0	0.0	*	5	5.0	*	0*	0*	0*		0		0.0	*		0			
26:40-26:45	1	1	1.0	6	5	5.5	1	3	1	1	0	0	2	4	3.0			0	2	
26:45-26:50	1*		1.0	6*		6.0	4*		1*		0*		5*		5.0			3*		
26:50-26:55	*	5	5.0	*	5	5.0	*	0*	0*	0*		0		0.0	*		0			
26:55-27:00	1	6	3.5	6	5	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0			0	0	
27:00-27:05	5*		5.0	6*		6.0	0*		0*		0*		0*		0.0			0*		
27:05-27:10	*	8	8.0	*	5	5.0	*	0*	0*	0*		0		0.0	*		0			
27:10-27:15	8	8	8.0	2	5	3.5	0	0	2	0	0	0	2	0	1.0			0	0	
27:15-27:20	8*		8.0	2*		2.0	0*		0*		0*		0*		0.0			0*		
27:20-27:25	*	9	9.0	*	5	5.0	*	0*	0*	0*		0		0.0	*		0			
27:25-27:30	8	9	8.5	3	5	4.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0			0	0	
27:30-27:35	7*		7.0	4*		4.0	0*		3*		1*		4*		4.0			0*		
27:35-27:40	*	6	6.0	*	5	5.0	*	2*	0*	0*		2		2.0	*		0			
27:40-27:45	6	6	6.0	6	5	5.5	3	1	2	1	4	2	9	4	6.5			0	0	
27:45-27:50	5*		5.0	6*		6.0	3*		2*		3*		8*		8.0			1*		
27:50-27:55	*	8	8.0	*	5	5.0	*	0*	0*	0*		0		0.0	*		0			
27:55-28:00	9	9	9.0	6	5	5.5	3	1	4	0	4	5	11	6	8.5			1	0	
28:00-28:05	5*		5.0	6*		6.0	4*		0*		3*		7*		7.0			0*		
28:05-28:10	*	2	2.0	*	5	5.0	*	2*	1*	1*		4		4.0	*		2			
28:10-28:15	9	6	7.5	6	5	5.5	2	2	0	1	0	0	2	3	2.5			1	2	
28:15-28:20	10*		10.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			*	*	
28:20-28:25	*	10	10.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			*	*	
28:25-28:30	10	10	10.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			*	*	
28:30-28:35	10*		10.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			*	*	
28:35-28:40	*	8	8.0	*	5	5.0	*	0*	0*	0*		0		0.0	*		0			
28:40-28:45	9	9	9.0	6	5	5.5	1	0	1	0	3	1	5	1	3.0			1	0	
28:45-28:50	7	5	6.0	6	5	5.5	3	1	0	1	0	0	3	2	2.5			1	1	
28:50-28:55	*	2	2.0	*	5	5.0	*	1*	0*	0*		1		1.0	*		1			
28:55-29:00	2	2	2.0	6	5	5.5	0	0	1	2	0	0	1	2	1.5			0	0	
合計							42	31	30	27	27	17	99	75	120.5			18	15	

表1 眼視観測結果（*は休憩中，または，観測不能を示す）

流星出現数と雲量

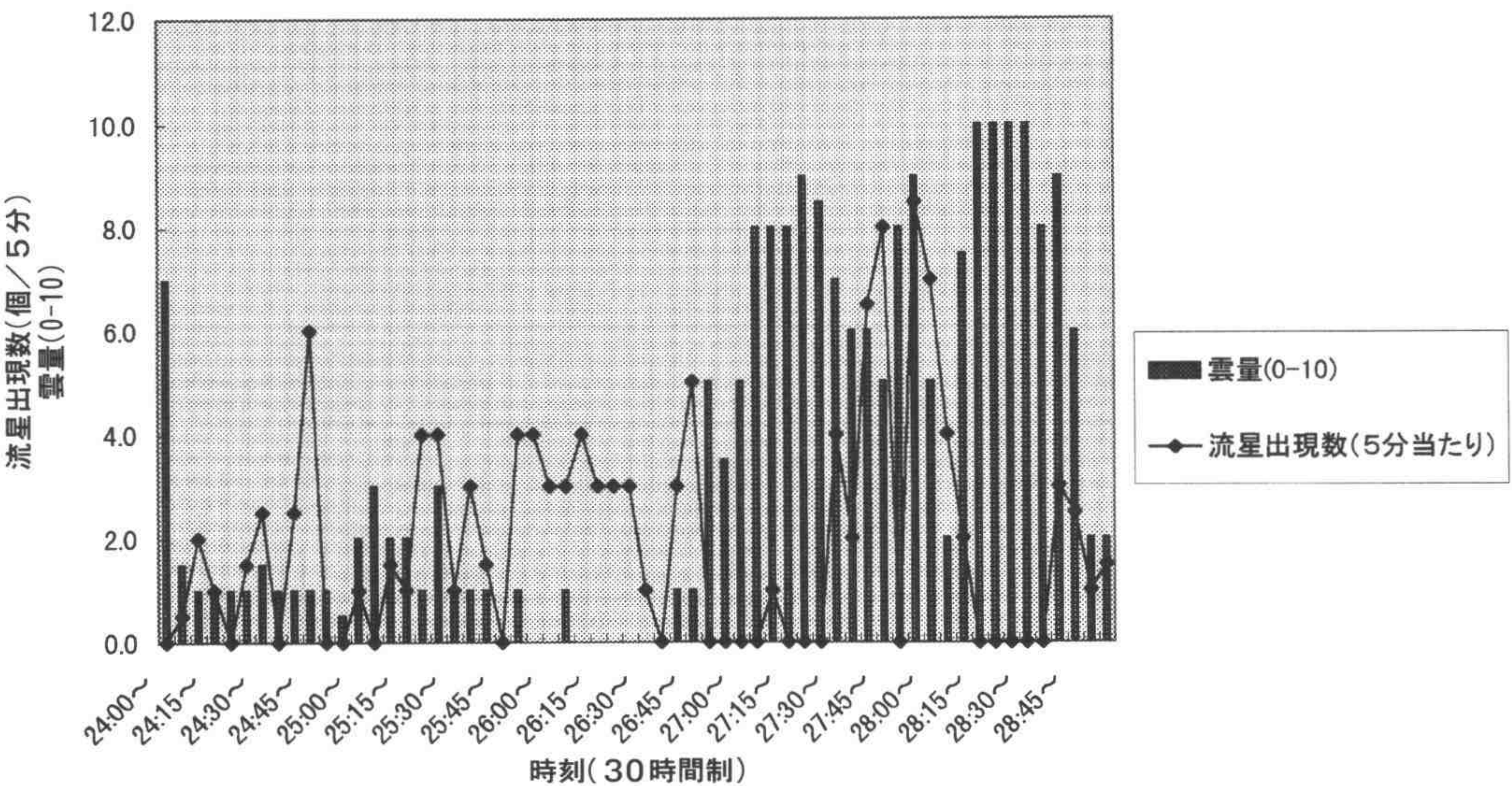


図3 流星出現数と雲量

時刻	15分 当たりの 流星数	HR	観測条件による補正				輻射点高度による補正		
		1時間 当たりの 流星数	最微光星 による 補正 a	15分当 たりの平均 の雲量 b	雲量によ る補正 b	CHR (=HR×a×b)	輻射点 高度 h	1/sin(h)	ZHR (=CHR/sin(h))
24:00-24:15	2.5	10.0	2.3	3.2	1.5	33.8	7.7	7.5	*
24:15-24:30	2.5	10.0	1.9	1.0	1.1	21.1	10.6	5.4	115
24:30-24:45	5.0	20.0	2.5	1.2	1.1	56.8	13.5	4.3	243
24:45-25:00	6.0	24.0	2.0	0.8	1.1	52.2	16.5	3.5	184
25:00-25:15	2.5	10.0	2.0	2.3	1.3	26.0	19.4	3.0	78
25:15-25:30	9.0	36.0	2.0	2.0	1.3	90.0	22.5	2.6	235
25:30-25:45	8.0	32.0	2.0	1.0	1.1	71.1	25.5	2.3	165
25:45-26:00	8.0	32.0	2.0	0.3	1.0	66.0	28.6	2.1	138
26:00-26:15	10.0	40.0	2.0	0.3	1.0	82.5	31.7	1.9	157
26:15-26:30	9.0	36.0	2.0	0.0	1.0	72.0	34.7	1.8	126
26:30-26:45	4.0	16.0	2.0	0.3	1.0	33.0	37.8	1.6	54
26:45-27:00	5.0	20.0	2.0	3.2	1.5	58.8	40.9	1.5	90
27:00-27:15	1.0	4.0	4.8	7.0	*	*	44	1.4	*
27:15-27:30	0.0	0.0	*	8.5	*	*	47.1	1.4	*
27:30-27:45	12.5	50.0	4.0	6.3	*	*	50.2	1.3	*
27:45-28:00	16.5	66.0	2.0	7.3	*	*	53.2	1.2	*
28:00-28:15	13.5	54.0	2.0	4.8	*	*	56.3	1.2	*
28:15-28:30	*	*	*	10.0	*	*	59.3	1.2	*
28:30-28:45	3.0	12.0	2.3	9.0	*	*	62.2	1.1	*
28:45-29:00	5.0	20.0	2.3	3.3	1.5	68.7	65.1	1.1	76

表2 計数観測(補正值)

ZHRの変化

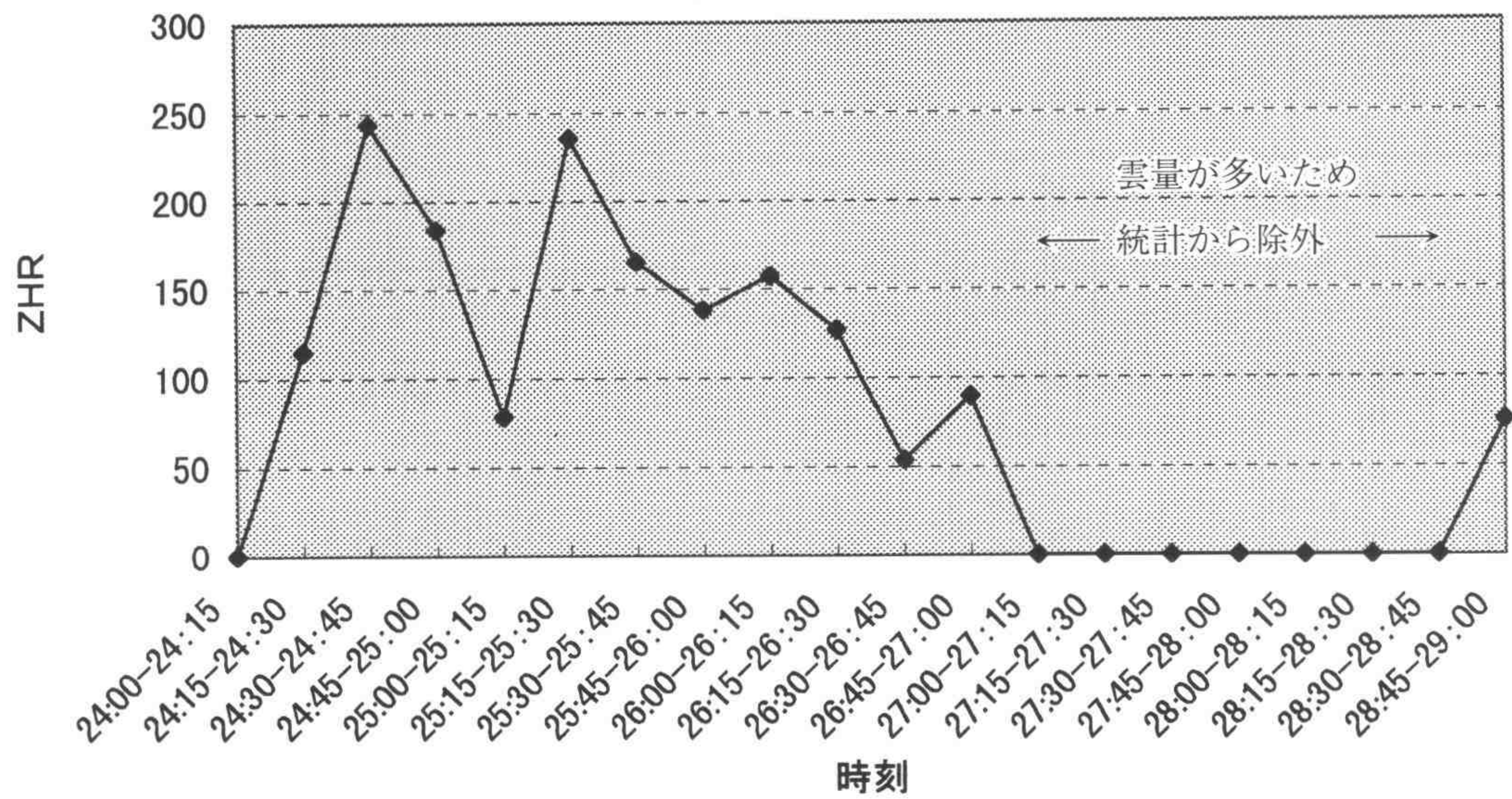


図4 Z H R の時間変化

速報サイト中の最大流星数（1時間あたりの個数に換算）

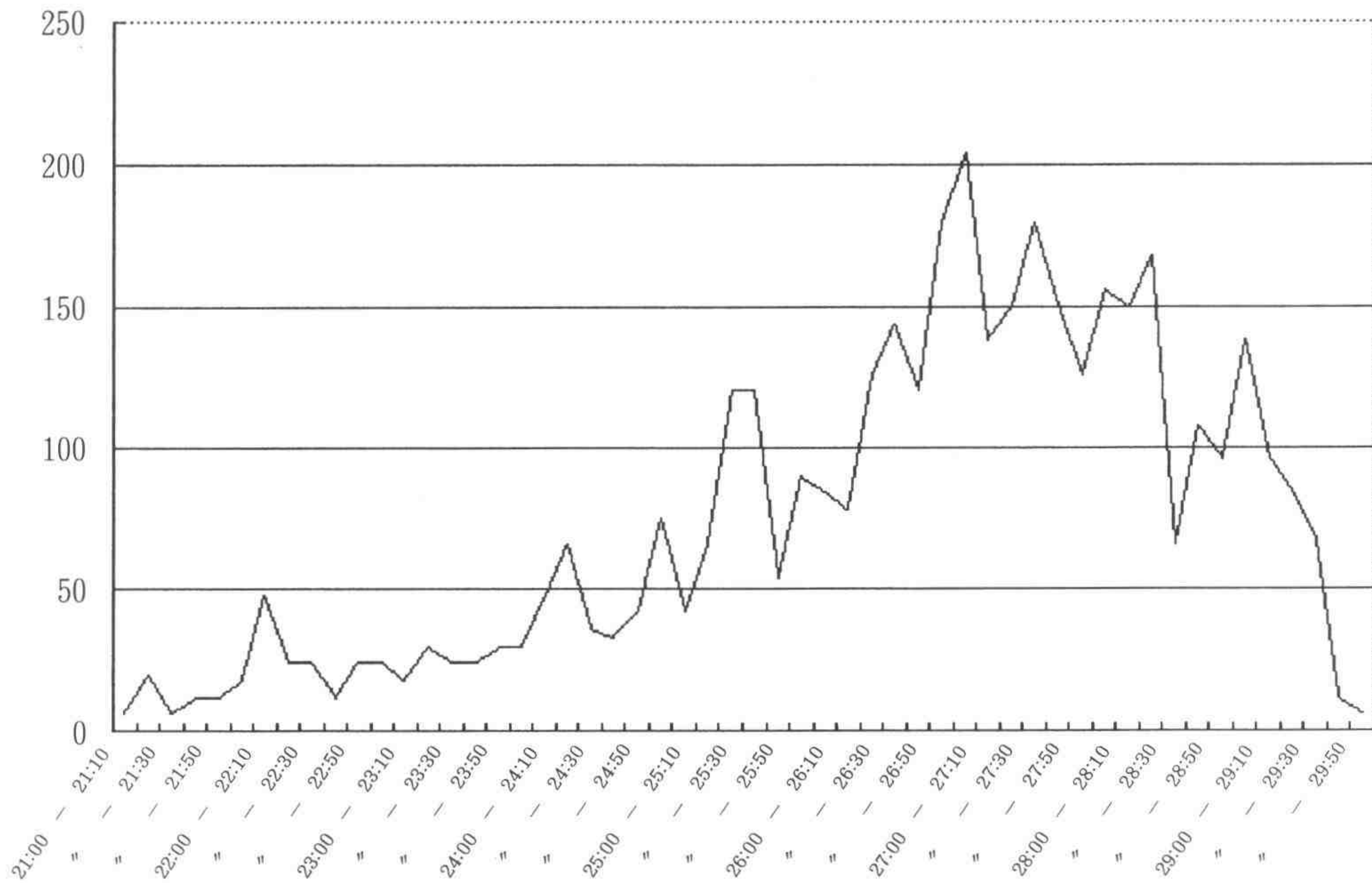


図5 最大流星数の時間変化⁽¹⁾

	明るい a	普通 b	暗い c	総観測数 (a + b + c)
平均総観測数	73	57	44	174
総観測数に対する割合 (%)	42.0	32.8	25.3	

表 3 光度別の平均総観測数とその割合

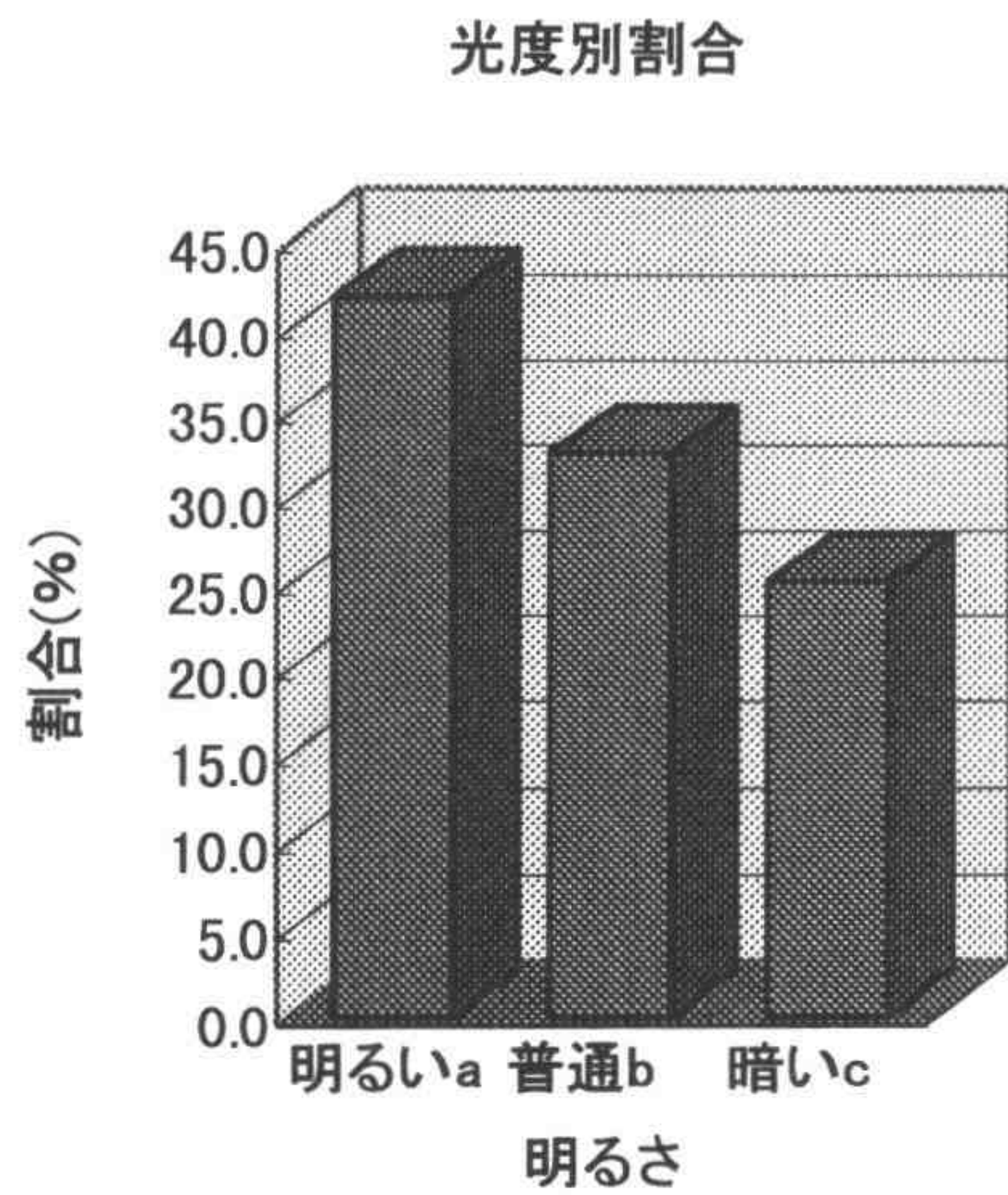


図 6 光度別割合

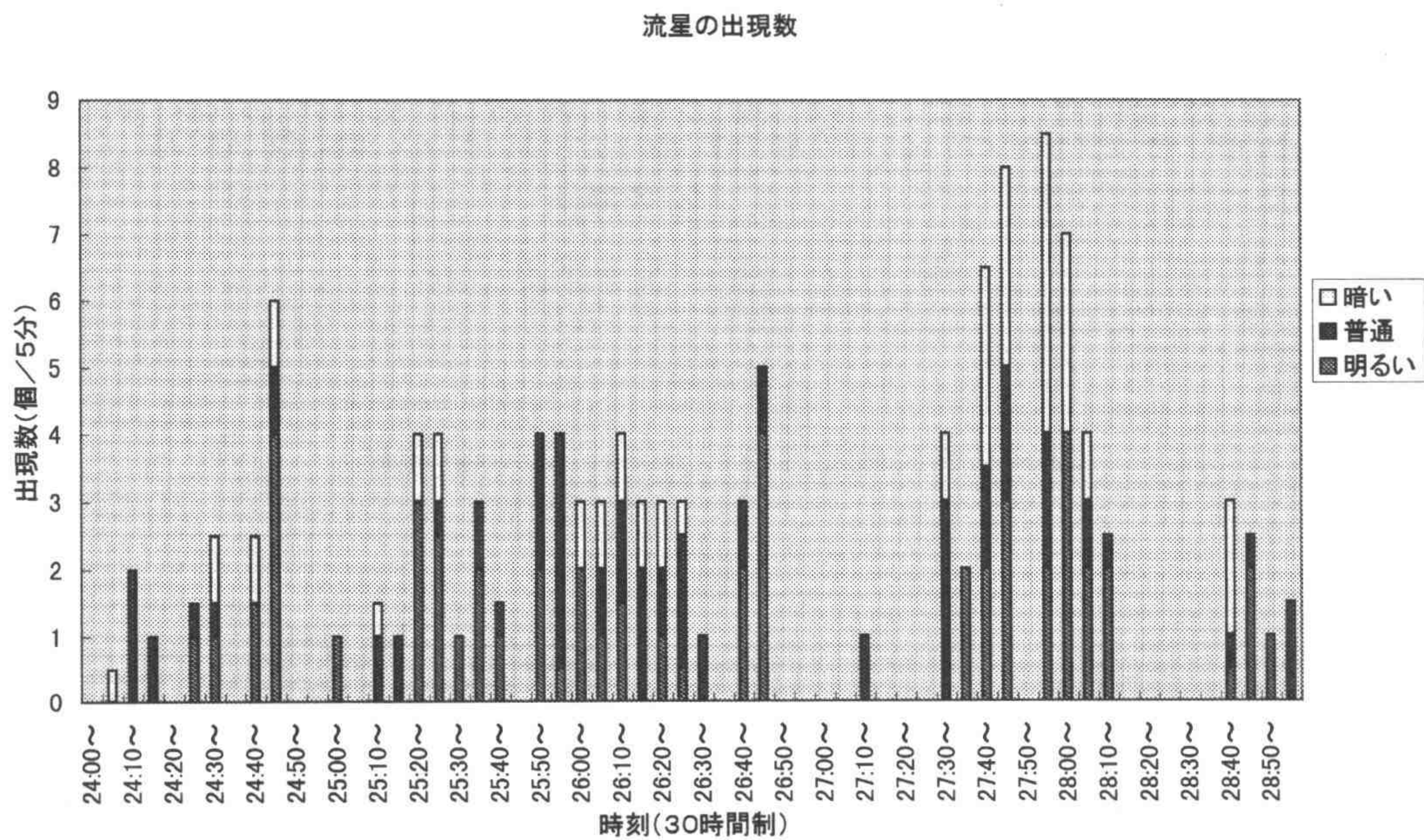


図 7 明るさごとの流星出現数の変化

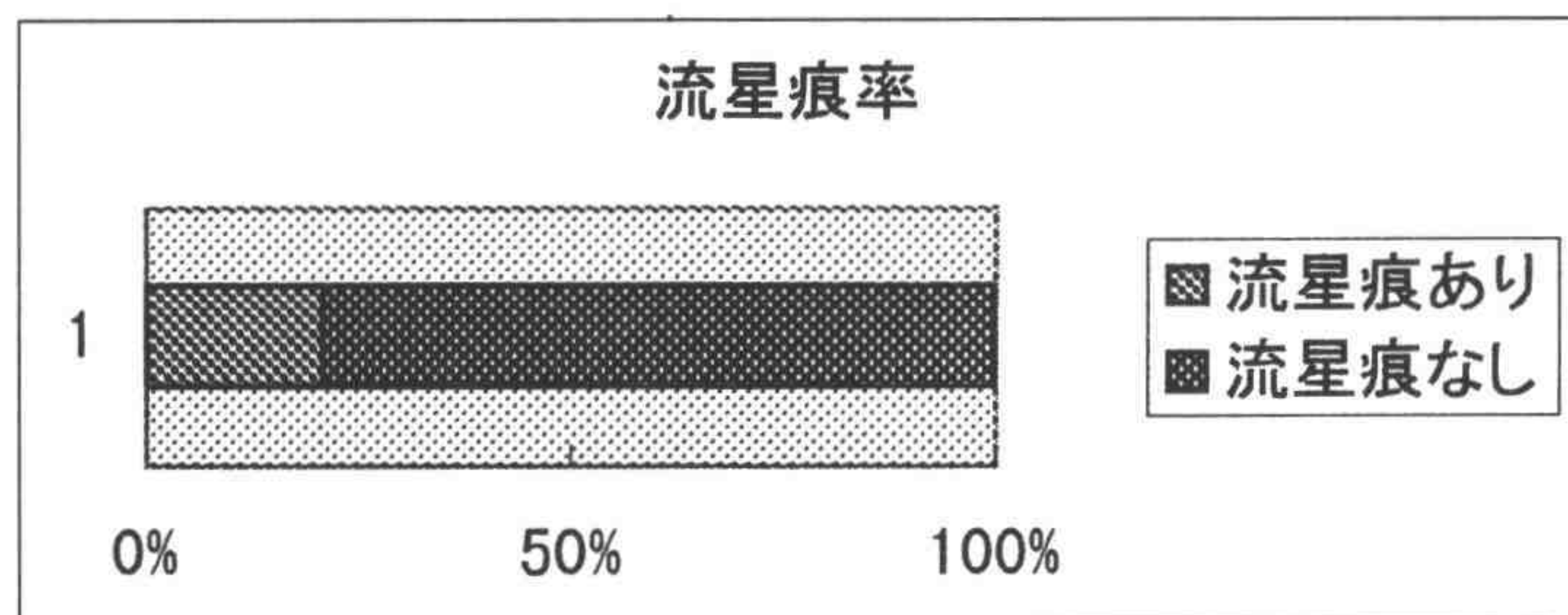


図 8 流星痕率

写真観測

一定時間露出をかけた写真を撮り、そこに写っている流星を調べると、流星数の他、明るさ、流れた方向、流星痕の形やその変化がわかる。なお、星は日周運動しているので、カメラは赤道儀に取り付け、自動ガイドを行うことにした。

(1) 観測方法

準備物

筆記用具、記録用紙、ペンライト、ストップウォッチ、カメラ、赤道儀、リリース、カイロ

観測の手順

- ①極軸をあわせた赤道儀に防寒・防露対策（使い捨てカイロをつけた）をしたカメラ2台（それぞれカメラa、カメラbとする）を赤道儀に2台ずつ取り付けて自動ガイドする。
- ②まず、カメラaに5分間の露出でシャッターを切り、記録用紙に撮影条件など必要事項を記入する。
- ③カメラaのシャッターを閉じると同時にカメラbを使って5分間撮影を続ける。
- ④②～③を繰り返す。

(2) 観測結果

全体的に天候が安定せず、計画通りの時間に写真を撮ることができなかった。また、気温が約2℃まで下がったため、カイロをカメラに巻き、防寒対策をとったにもかかわらず、シャッターがきれなくなってしまう、流星をとらえることはほとんどできなかった。図9は、流星像をきれいにとることができた数少ない写真の一つである。

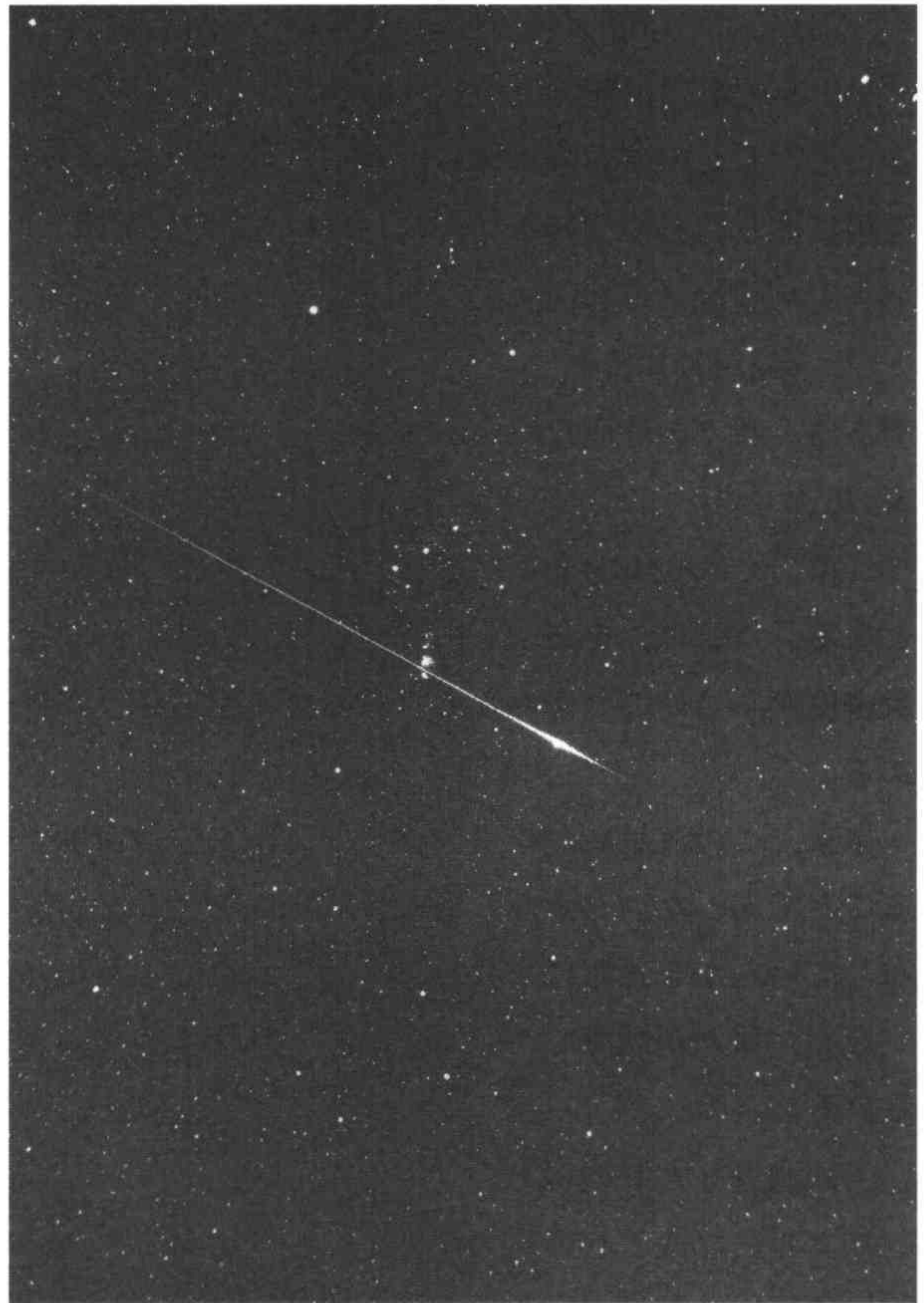


図9 オリオン座を流れる流星

考 察

観測1 流星の計数観測

予測では、流星群の活動のピークは18日4時頃ということであったが、3～5時（30時間制で27～29時）の間の雲量が5～10で、この間、十分な観測をする事ができなかった。しかし、この時間帯に雲間を通してHRが60前後の流星を観測することができた（この間、雲量が多かったた

め、ZHRの集計からは外している)。例年、しし座流星群は、HRが数個からせいぜい30程度であるから、今回の活動は例年より多かったことがわかる。

一方、我々が参加した“しし座流星群・全国高校生同時観測会”には276グループの約2,600名が参加し、今までに例のない大規模な流星観測網となった。全国で観測したデータはまだ分析中であるが、流星の出現数は一時間あたり最大でも100個程度であり、この観測網を機能させるには不十分であったようである。

さて、我々が得たデータを使い、しし座流星群のおおよその粒子間隔を求めてみる。

通常の人視野はおおよそ半径 60° の円形であるから、流星が出現する100kmの高さでの面積 S はおおよそ、

$$\begin{aligned} S &= \pi \times (100 \times \tan 60^\circ)^2 \\ &= 9.4 \times 10^4 \text{ km}^2 \end{aligned}$$

となる。しし座流星群の流星はおおよそ $v = 70 \text{ km/s}$ で地球に向かってくるので、1時間当たりその面積に流れ込む空間の体積 V は、

$$\begin{aligned} V &= S \times (v \times 60 \times 60) \\ &= 2.4 \times 10^{10} \text{ km}^3 \end{aligned}$$

である。我々の観測で得た最大のZHRは243個/hなので、流星物質1個当たりの占める体積 V_0 は、

$$V_0 = V / 243 = 1.0 \times 10^8 \text{ km}^3$$

となる。これは、1辺が $4.6 \times 10^2 \text{ km}$ の立方体に流星物質が1個となり、流星群といっても、その数密度が小さいことがわかる。ただ、実際は我々が見逃した暗くて小さい流星が多数あるはずである。

本来、この流星観測の目的の一つは、この数密度の時間変化から流星物質の分布を明らかにすることであった。しかし、我々が観測したデータの量は十分ではなく、流星物質がどのように分布していたかを正確に求めることができなかったことは残念である。

なお、我々が観測した計数データには、つぎのような理由により誤差が生じていることが考えられる。

- ①観測者aとbの視力の差
- ②グループAとBの視力の差
- ③視野内の雲量を正確に測定していない。
- ④しし座流星群以外の流星を計数した(散在流星や同じ期間に活動していたおうし座流星群など)。

図4と図5を比べてみると、我々の観測によるZHRは大きめにでているようであるが、これは主に④によると思われる。

観測2 光度別計数観測 観測3 流星痕観測

図6の結果は、しし座流星群の特徴をよくとらえている。つまり、観測した流星の4割を越えるほども「明るい」流星が見られたことである。一般の流星群では-1等を越えるような明るい

流星はそれほど多くはない。明るい流星が多いことは、このしし座流星群の特徴であることが、この観測であらためて確認できた。また、図8のように流星痕も約2割の流星で確認でき、流星痕が現れやすい流星群であることもわかる。しかし、一般に流星痕は明るい流星に発生しやすいので、これは明るい流星が多いしし座流星群の必然的な傾向である。

このデータにはおかしな点もある。つまり、「暗い」流星の数に比べ「明るい」流星の数の方が多過ぎることである。これは、明るい流星より暗い流星の方が多いという一般的な傾向に反する結果である。この理由には次のようなことが考えられる。

- ①流星の明るさを正確に「明るい」「普通」「暗い」に分類できなかったこと。
- ②我々が観測に慣れていないため、発見しやすい明るい流星ばかりを観測したこと。
- ③寒さと眠気、疲れのため、注意力が散漫になっていたこと。
- ④視野の中心付近は光に対する目の感度がいいが、周辺にいくほど感度が鈍くなるという傾向があること。

光度別計数観測は流星物質の質量分布を調べるために行った。しかし、「明るい」流星の方が「普通」の流星や「暗い」流星よりも多くなり、間違った結果がでてしまった。そのため、質量分布を求めることができなくなってしまった。①～④の要因をできるだけ小さくして観測を行い、正しい質量分布を求めることが、今後の研究課題の一つである。

感 想

大流星雨の出現を期待して準備してきたしし座流星群の観測会であったが、天候に恵まれず、また、出現数も期待したものには及ばずとても残念であった。しかし、今の部員としては初めて流星観測を行い、その結果を“しし座流星群・全国高校生同時観測会”に報告する事ができたことは大きな意義があったように思う。また、前日と当日にNHKの取材があり、我々の活動が全国放送されたことは大きな励みとなった。

観測場所となった星の里ふれあいセンターには、我々の他に鴨方高校をはじめ、親子連れなど一般の多くの人々が来て観測を行った。車のヘッドライトをつけたままにしておくなどマナーを守らない者も多く、観測の支障になることもたびたびあった。しかし、それだけ多くの人がこのしし座流星群に興味を持ち、我々と同じ空を見ていたということである。火球と呼ばれるほどの明るい流星が流れると、ふれあいセンターのグラウンドに集まった（おそらく）百人以上の人が一斉に歓声を上げ、お互い顔も見ることのできない真っ暗な中で多くの人と感動をともにすることができた喜びは忘れることができない。

来年のしし座流星群の観測条件は月齢や活動ピークの時間帯など今年ほどよい条件は整っていない。しかし、この観測会で流星観測のノウハウを身につけることができたので、来年以降もしし座流星群の活動の様子を観測し、流星ダストはどのように分布しており、どのように時間変化していくのか、流星の質量分布はどのようなになっているのかなど、今回の観測会で問題として残ったことを解明してみたい。また、“しし座流星群・全国高校生同時観測会”で集計したデータが得られることになっている。今後このデータを解析し、'98年のしし座流星群についてまとめてみたい。

なお、物理部顧問の蟻正先生には、流星観測の知識も経験もほとんどない我々を暖かくご指導していただきました。最後になりましたが、御礼申し上げます。

参考文献・HP等

- (1) 鈴木文二他「しし座流星群・全国高校生同時観測会」” [http://www. leonids. net](http://www.leonids.net)” ,
および観測資料。
- (2) 長沢工著「流星と流星群」地人書館発行(1997)