

ISSN 0912-2478

# 研 究 報 告

No. 36

平成 5 年度

(1993年)

沖 繩 県 林 業 試 験 場

沖繩県名護市字名護3626番地

〒905 TEL. 0980-52-2091

# 目 次

研究報告	ページ
キオビエダジャクの生態と防除 .....	1
具志堅 允 一	
吉 田 成 章	
牧 野 俊 一	
亜熱帯広葉樹林の樹冠遮断率について .....	32
金 城 勝	
寺 園 隆 一	
複層林造成技術 .....	40
——光環境測定技術について——	
寺 園 隆 一	
生 沢 均	
県産各樹種における粗飼料化技術の開発 .....	49
——酵素糖化率の検討——	
嘉手苺 幸 男	
有用樹種の組織培養による増殖技術 .....	54
——イヌマキの組織培養——	
近 藤 博 夫	
石 井 克 明	
オキナワユミアシゴミムシグマシによるシイタケ被害について .....	63
具志堅 允 一	
調 査 報 告	
久米島における台風13号被害について .....	71
生 沢 均	
平 田 功	
具志堅 允 一	
資 料	
菌床シイタケ栽培試験 .....	89
——秋山20号の菌の菌床栽培試験——	
比 嘉 享	
シイタケ栽培の改善試験 .....	94
——浸水時間と子実体の形状及び収量について——	
比 嘉 享	

# キオビエダシヤクの生態と防除

具志堅 允 一

吉 田 成 章 \*

牧 野 俊 一 \*

## I はじめに

イヌマキは、高級構造材に求められる種々の優れた性質を有する郷土樹種である。林政八書には「檜木仕立法」が記され、離島各地では男子が生まれたら植林する慣わしがあったことから推察できるように、イヌマキ造林には永い歴史がある<sup>1)</sup>。光沢のある細やかな木目は美麗で、シロアりに強く、湿気、腐れにもよく耐えるという材の特質は、建築様式が変化した今日においても少しもその価値を失ってはいない。にもかかわらず造林が進展しないのは、キオビエダシヤク被害に対する不安が常につきまとうためであろう。

わが国の代表的な構造材であるスギ、ヒノキの生産に適さない本県にあって、イヌマキは林業の振興上、重要な樹種であることはいままでもないが、キオビエダシヤクの被害回避技術を確立することによってはじめて積極的な造林推進が可能になる。

現在、本種の防除は専ら薬剤散布に頼っているが、多額の費用を要することや、環境問題との関連で新たな防除方法の開発が求められている。そのためには本種の生態や発育についての情報を蓄積する必要がある。このような観点から、防除のための基礎調査を行ってきた。

本稿は試験研究期間の終了年にあたり、文献整理を交えながらこれまでの調査結果を総括するものである。

なお、本調査を行うにあたっては森林総合研究所九州支所の岡部貴美子氏、鹿児島県林業試験場の瀬戸口徹氏、八重山支庁をはじめ多くの方々のご協力をいただいた。また、台湾での情報収集に際しては台湾省林業試験所長楊政川博士、森林生物系主任呂欽明博士ならびに森林保護系主任趙榮台博士、張玉珍氏のご尽力をいただいた。記して感謝申し上げる次第である。

## II 被害実態

### 1. 被害歴

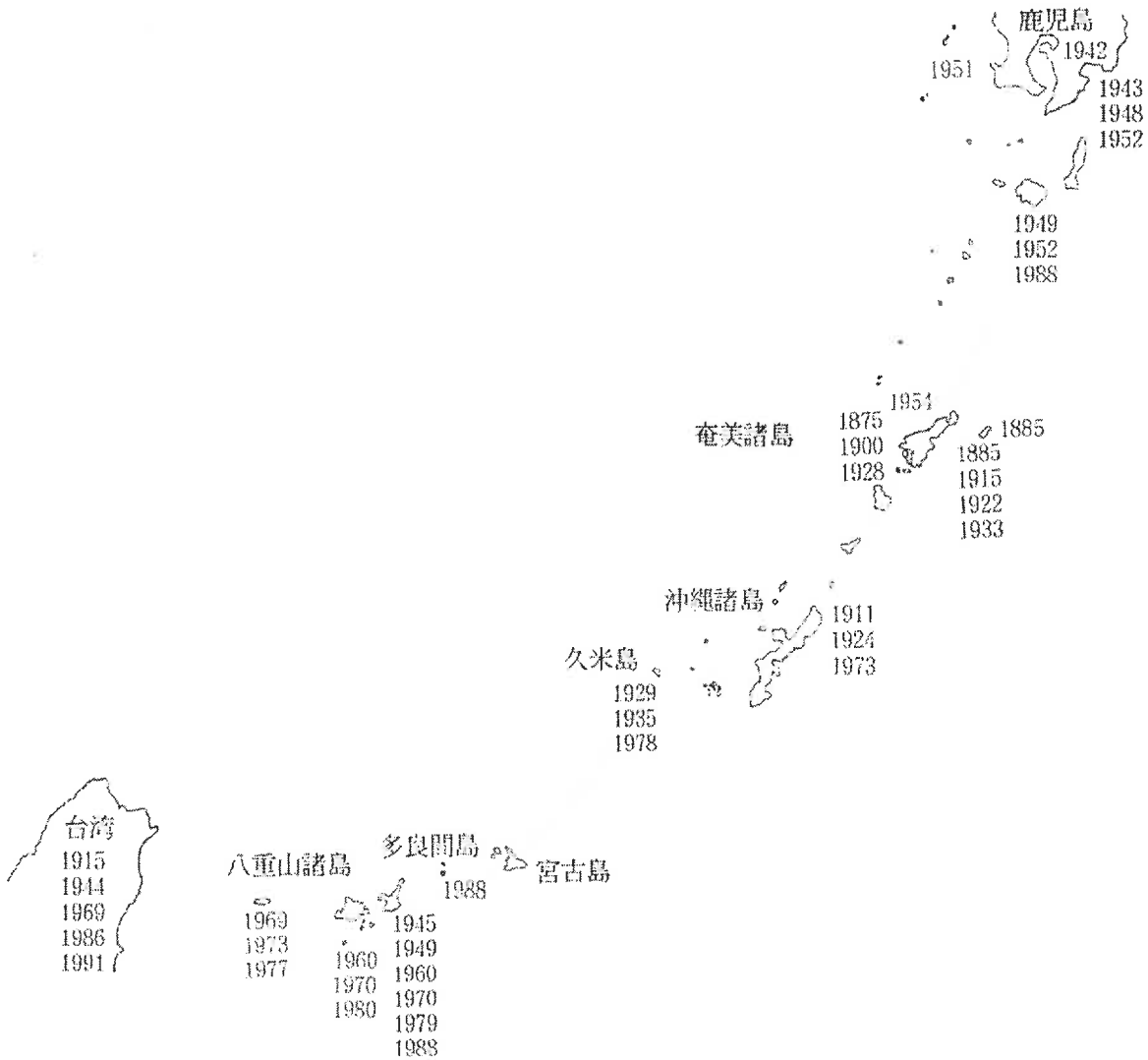
キオビエダシヤクは沖縄地方では40年周期に発生するとか、発生したら戦争が始まるとかいわれており、奄美大島でも同様に60年周期に発生するとか、発生したら飢饉になるとかの言伝えがある<sup>2)</sup>。戦争や飢饉が本種の発生と直接関係があるとは思われず、たまたま発生年とそれらが一致したものであろう。周期説については、キオビエダシヤクが一度発生すると、イヌマキはことごとく被害されてしまい、枯死するか餌条件が極めて悪くなって、キオビエダシヤク個体群が崩壊するが、餌となるつぎのイヌマキが発生するまで、あるいは次の個体群が侵入するまでに、長い年月を要するためとも考えられる。

九州南部から台湾にかけて、これまでの記録と聞き取り調査から、被害発生場所と発生年を図一

\* 森林総合研究所九州支所

1に示すが、数年にわたり連続して発生した場合は最初の年を記した。

鹿児島本土では1943年に橋口<sup>9)</sup>によって採集されたのが最初の記録である。その後、山本<sup>7)</sup>が1951年に大隅半島で採集し、1942年から3年間ほど発生したと記録されている。また、前原<sup>8)</sup>は1952年に鹿児島市内で採集している。



図一 キオピエダシヤク被害発生記録(年)

奄美大島では楚南<sup>9)</sup>の記録が最初のもので、ついで江崎<sup>10)</sup>の調査がある。これによると、奄美大島本島においては、1885年、1915年および1933年に大発生しており、最近では1979年に発生した記録がある。喜界島では1885年に、徳之島では1875年、1900年および1928年に大発生している。トカラ列島の被害については1954年に宮本ら<sup>11)</sup>、中根ら<sup>12)</sup>が報告している。

種子島では1949年、1952年に、屋久島では1943年、1948年および1952年にそれぞれ大発生している。江崎<sup>10)</sup>、横山<sup>13)</sup>によると、これらは戦前(1945年以前)に奄美大島方面から侵入・定着したものである。なお、屋久島では1988年にも発生が確認された。

沖縄本島では、黒岩ら<sup>18)</sup>は1911年に園頭村での発生状況と駆除法について述べているが、これが1888年の原記載を別として最初の記録であろう。同氏はそのなかで、「…チャーギには従来一種の害虫ありて、其繁殖甚だしきときは、幹上一の青葉も止めす。尚、枝梢の皮部迄も食ひ尽くして遂に枯死せしむることは、世人の能く知る所なり…」と述べ、古くからしばしば大発生が起っていたことを明らかにしている。その後、末吉・我如古<sup>19)</sup>が1973年に記録しているが、その間は断続的に発生していたものであろう。1979年以降は毎年、多少なりとも見られるようになり、局所的に大きな被害が発生している。特に本島随一ともいえる今帰仁村の造林地では1974年に大発生があり、多数の枯死木が発生した。

久米島では国吉<sup>18)</sup>によると、1929年に当時小学生であった同氏が、その駆除に参加したことを記しているという。その後、1978年の大発生<sup>19)</sup>をみるまでは顕著な被害はなかった。

石垣島では1945年、1960年、1970～72年および1979～1981年に大発生があった。戦前の記録は残っていないので明かではないが、それ以前も1、2回の発生はあったものと推測<sup>18)</sup>されている。1988年には島全域で大発生があり、造林地だけでなく、市街地に緑化樹として植栽されたイヌマキにも多大な被害が発生<sup>20)</sup>した。

多良間島では1988年に突如として大発生し、壊滅的な被害をあたえた<sup>21)</sup>が、1990年以降は発生していない。なお、同島で古老数名から発生歴の聞き取り調査を行ったが、それ以前に発生があったことを示唆する情報は得られなかった。

与那国島では1969年に大発生したようである。大直見稔氏（私信）によると、被害は、最初は島の中央部で確認されたが、急速に与那国島全域に及び、海上には成虫が多数舞っていた。その後、1973年（村助役）、1977年に発生があったようである。

波照間島では1960年、1970年に発生があったが、局所的で、しかも1年で終息したようである。1980年には大発生し、枯死木も発生した。周期的に発生することが語り継がれてきた（大嵩嘉一氏）ことから、1960年以前も大発生があったものと思われる。

台湾では、木生昆虫博物館館長 余清金氏によると、50年ほど前（1944年前後）、台湾中部の北山溪に大発生したが、きれいな蛾だったので、大量に採集し、工芸品（羽細工）を作ったことを記憶しているという。

1969～1971年頃に、台中で大発生があり、このときは溪頭でも発生した。

1986年には竹山を中心に大発生があった。このときは台湾大学農学院実験林管理所構内のイヌマキ属のほとんどが食害を受け、樹高8 m、直径20～30 cmのイヌマキ20本程度が枯死した（同管理所 江燕飛氏）。台湾の中央部に位置する南投県蓮華池では数年前に発生した（台湾省林業試験所蓮華池分所長）。また、1991年には宜蘭県と台北県の境界にある台湾省林業試験所福山分所構内展示林で、植栽後間もないイヌマキが食害によって多数枯死した（呂錦明氏）。なお、筆者は1992年に福山で、1993年3月には蓮華池で局所的に発生しているのを確認した。

## 2. 被害態様

野外で観察されるイヌマキのキオビエダシヤク被害では、全葉食いつくされる木がある一方、その隣でほとんど食害を受けていないものがあることから、抵抗性個体が存在するのではないかと考えられてきた。これまで逐次このような個体の葉を室内の飼育幼虫に与えて嗜好差を調査しているが、いまだに摂食量に差のある個体は見いだされていない。そこで激害地において大して食害されることなく残った木を追跡調査し、抵抗性個体の検索を試みた。また、同一林分でも場所によって被害

の度合が極端にバラつく原因を明らかにするため、被害の分布状況と低密度時における幼虫の分布様式を検討した。

### 1) 調査方法

被害分布調査は奄美大島の鹿児島県林業試験場中勝試験地、朝戸試験地および石垣市大股原の石垣市有のイヌマキ林で1992年1月24～30日に行った。調査時は幼虫が少ない時期であったことから食害量の調査を中心に行った。食害量の調査とともに幼虫数の調査ができたのは大股原1カ所だけであった。幼虫数は4～5回幹を揺ることによって落下懸垂する幼虫について調査した。食害量の調査では被害実態が林分によって異なることからグレードの分け方は林分で異にした。被害度は目視で行い、中勝試験地と大股原Aについては0、1、2、3の4段階（0：食害が全葉量の30%以下、1：30～70%、2：70～90%、3：90%以上の食害）大股原Bは0、1、2、3、4の5段階（0：10%以下、1：10～40%、2：40～60%、3：60～90%、4：90%以上）とした。

### 2) 調査結果

奄美大島の朝戸試験地には約0.3haに1,500本程度のイヌマキが植栽されていたが、1989年3月の調査時にはキオビエグシャクの食害によってほとんど枯れており、その中で約20本のイヌマキがわずかに食害された程度で残っていた<sup>22)</sup>。しかし、1992年1月22日～28日の調査ではその後食害されて完全に枯死したことから、当該木の抵抗性が高いことの可能性はかなり低いと推察された。

図-2～4に林分調査の結果を実際の配列に従って示した。奄美大島の中勝試験地と大股原Bでは被害度が高く、食害されたものとそうでないものの差は歴然としていたが、大股原Aでは被害は全体に及んでいるものの軽微で個体間の差も明瞭ではなかった。その原因は明らかではないが、次のようなことが考えられる。すなわち、前二者が林縁に位置するのに対して後者は林分のほぼ中央部に位置するが、成虫の蜜源となっているイジュ、ウラジロダシ、テシヤノキやセンダン等の生育場所がイヌマキ林の林縁付近に多く、また、成虫は夜間にはこれら高木の葉裏で休息することが多いことから、相対的に成虫密度が高くなる。中勝試験地と大股原Bで被害度が高いのはこのような環境の不均一性を反映しているものと思われる。

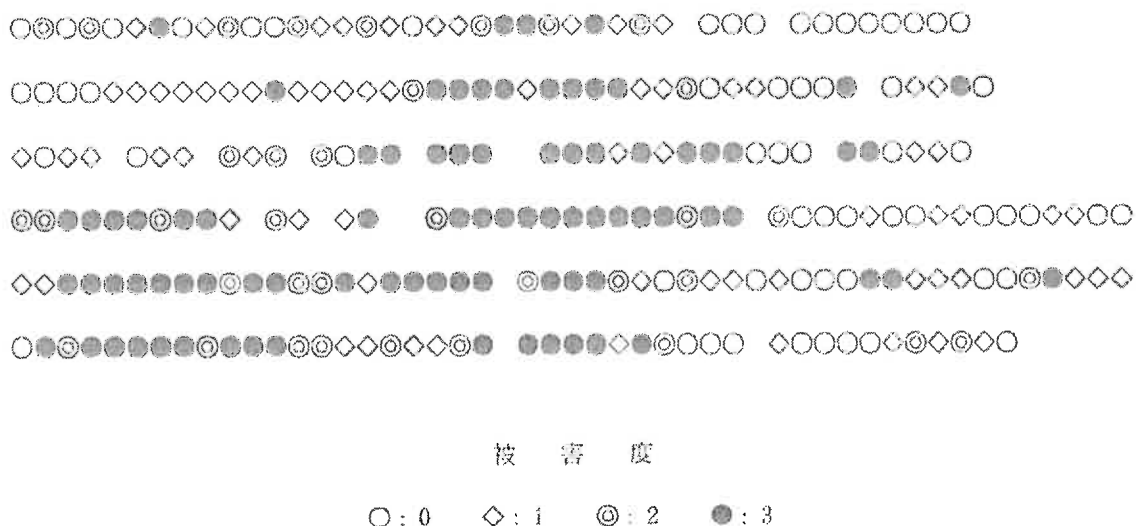


図-2 中勝試験地の立木位置と被害度（図中の空白は欠木をあらわす）

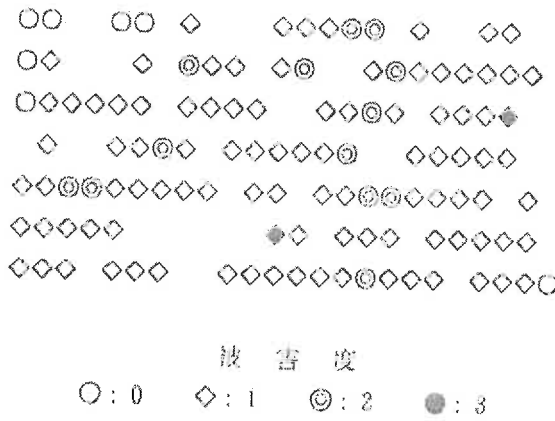


図-3 大俣原Aの立木位置と被害度

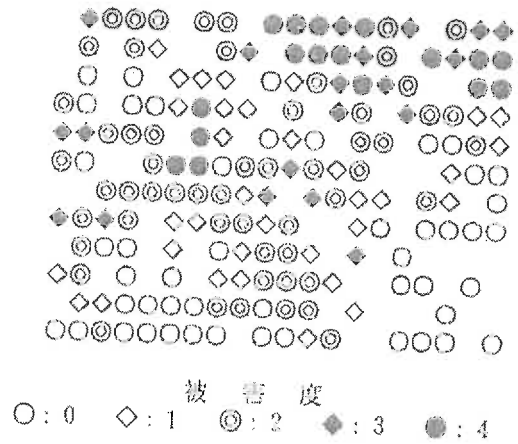


図-4 大俣原Bの立木位置と被害度

つぎに大俣原Bにおける幼虫の分布状況を図-5に示す。この分布に負の二項分布のあてはめを行うとともに  $I \delta$ 、 $I B$ 、 $\frac{\bar{x}}{m}$  の各示数によって分布型を検討した。集中分布をする動物の分布様式は負の二項分布に従うことが知られており<sup>21)</sup>、前報<sup>22)</sup>でキオビエダシヤク幼虫の分布様式が集中分布型であることを明らかにした。当該調査地においても図-6に示すとおり、負の二項分布に適合しているといえる ( $\chi^2 = 0.99$ 、 $0.90 > Pr > 0.80$ )。また分布の集中度を示す  $I \delta$ 、 $I B$ 、 $\frac{\bar{x}}{m}$  はそれぞれ2.29、2.31、2.25であった。これらの示数はいずれも  $> 1$  のときに集中分布、 $= 1$  のときにランダム分布、 $< 1$  のときに一様分布をあらわす<sup>23)</sup>。以上のことから、このような幼虫の分布は低密度時において期待される集中分布型の分布様式を示していると考えられる。また、落下幼虫の大部分が終齢幼虫であったことから、この幼虫の分布がただちに産卵分布を反映しているとは考えにくい。しかし、雌成虫は主に樹皮の裂け目や枝の付け根など樹皮の粗い部分に産卵し、ツル性植物が巻き付いた幹にはツルに沿って集中的に産卵する傾向がある<sup>24)</sup> こと、さらに樹幹にマジックテープを巻き付けて人為的に産卵に好適な場所をつくりだすと集中して産卵<sup>25)</sup> することから、同一場所であっても樹皮の粗い個体や枝張りの多い個体など相対的に産卵されやすい個体があり、密度が高くなっても後述するように産卵の回避は起こらないといえる。このため、多数の個体によって産卵が蓄積される結果、被害が激しくなると考えられる。極端な被害のバラツキ現象が起こるのは、イヌマキ樹皮の粗密とこのような成虫の産卵習性によるものと推察される。

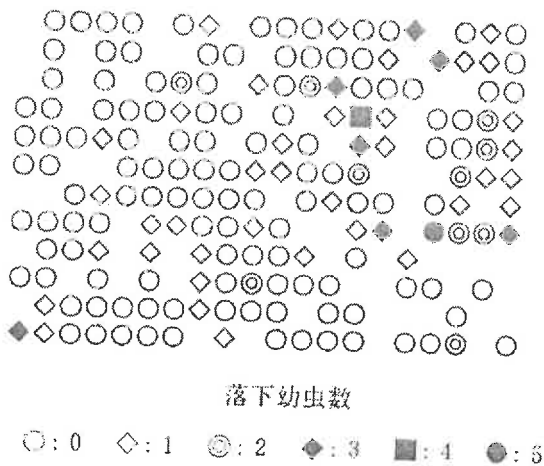


図-5 幼虫の樹間分布 (大俣原B)

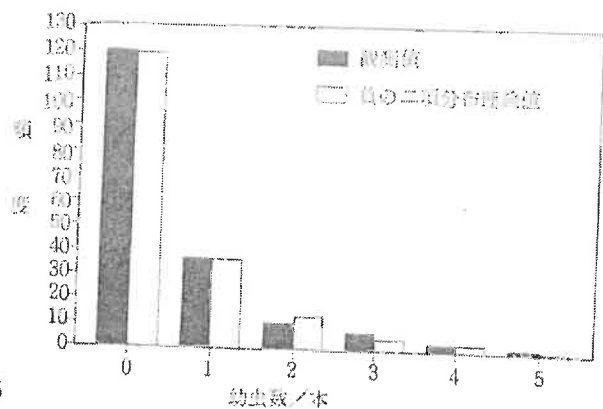


図-6 1本あたりの落下幼虫数 (大俣原B)

### 3. 被害解析

経済林としてイヌマキ林を管理していく場合、キオビエダシヤクによるイヌマキ葉の減少が成長量にどのような影響を与えるかを知ることは重要な課題である。このような見地から摘葉によるキオビエダシヤク被害のモデル試験を行った。

#### 1) 試験方法

林業試験場構内において3年生イヌマキ苗を用いて行った。摘葉処理区は25、50、75および90%摘葉の4段階とし、対照区として無摘葉区を設けた。供試本数は各20本である。摘葉の方法は各供試木の葉を一枚一枚その葉面積が所定の割合になるように、ハサミで先端部から切断した。摘葉は10月に行い、測定は樹高と地際直径について処理後6カ月目、12カ月目に行った。なお、試験地は水田跡地を圃頭露層で埋め立てて造成された圃場内にあり、土壌は堅密で排水性に乏しく、地力に顕著な差がみられたので、土地の効果を相殺するため、供試木はそれぞれの処理木が試験地内に一様に分散するように配置した。

#### 2) 試験結果

##### ① 伸長成長

試験結果は図-7に示した。10月から4月までの6カ月間における25、50、75、90%摘葉区の伸長量は無摘葉区のそれぞれ84.2、54.9、17.8、8.7%となり、50%から75%の摘葉によって伸長量は急激に減退した。平均値の差の検定の結果、25%摘葉区は無摘葉区と有為な差は認められなかった。これに対し、摘葉後半年経過した4月から10月までの期間の伸長率は、それぞれ85、64.5、37.8、11.7%であった。25%摘葉区から75%摘葉区までは摘葉後6カ月目に比べて伸長率が上昇しており、摘葉による影響から回復しつつあることが伺える。しかし、90%摘葉区ではわずか3%上昇しただけで、依然として伸長率の回復は認められない。

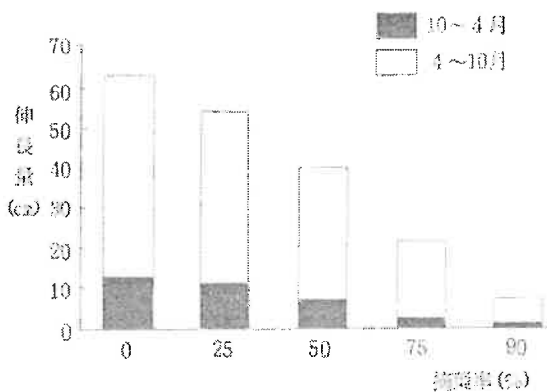


図-7 摘葉後の伸長量

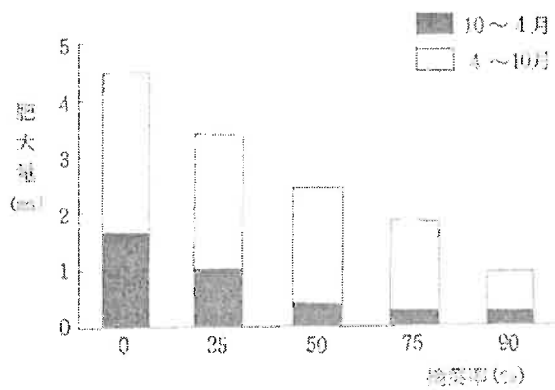


図-8 摘葉後の肥大量

##### ② 肥大成長

試験結果は図-8のとおりである。10月摘葉後6カ月間の肥大量は、無摘葉区が1.65mmであったのに対して、摘葉区の肥大量は無摘葉区のそれぞれ、60.6、24.2、18.2、15.2%となり、肥大率は50%摘葉率までは急激に低下し、それ以上の摘葉率ではゆるやかに減少した。このように、10月摘葉の場合、比較的低い摘葉率でも肥大成長に大きく影響し、しかもその影響は伸長成長に比べて処理後速やかにあらわれている。一方、10月から4月までの無摘葉区に対する成長率はそれぞれ85.7、



73.2、55.4、25.0%となり、10月から4月までの成長に比べ、肥大量が大きく、しかも無摘葉区に対する肥大率も高くなっている。その結果、無摘葉区と25%摘葉区、50%摘葉区相互間では成長量に有為な差は見られず、摘葉による影響から開放されたものと考えられる。しかし、75%摘葉区と90%摘葉区では成長率はいくぶん上昇したものの、なお強い影響が残っていると言える。

アカマツ、クロマツでは摘葉の影響は肥大成長には処理後速やかに現われることが報告されているが<sup>26)</sup>、イヌマキの場合でも同様の結果が得られた。また、山口<sup>27)</sup>は食葉性害虫の食害が林木に与える影響を3段階に分け、普通の状態では枯死までには至らないが、成長の回復が遅れ、その影響が長年にわたるようなレベルを第三レベルとし、常緑針葉樹の場合、これを70%としている。今回の試験結果から、イヌマキがキオビエダシヤクの食害を受けた場合、それ以降、連続して食害を受けないという前提ならば、被害許容第三レベルは75%程度であると考えられる。また、食害率が90%を越えた場合、少なくとも1年間は樹勢は回復しないといえる。

### Ⅲ 生 態

#### 1. 行動習性

成虫は羽化後、数時間は林内の下草等にぶら下がり、翅が伸長・乾燥した後活動する。昼行性で活動は早朝から夕方まで行われ、日射しの柔らかい午前10時頃までと午後4時頃から日没前までに活発に活動するが、曇天の日には日中でも盛んな飛翔活動が見られる。時に林縁部の高木の樹冠付近（地上高10～20m）を小さな群れで群舞するが、個々の飛翔方向はまちまちである。その理由は明かではないが、これらの成虫を3回にわたって計43頭採集したところ、すべて雌であったことから、配偶行動に関係しているものと考えられる。日中は林縁の樹の葉裏に静止するが、成虫も幼虫と同様に足音や振動に敏感に反応し、素早く飛び去って行くが、この時、別の個体もその逃避行動に反応し、次々と連鎖反応を示すことがある。しかし、交尾個体や産卵中の個体は外敵に対する反応が鈍く、このため、比較的簡単に捕えることができる。

交尾個体はイヌマキ樹上または付近の広葉樹上で見られるが、必ずしもイヌマキ樹上に多いということはない。

雌成虫は産卵に際しては、イヌマキの枝や幹上を翅をゆっくり開閉し、産卵管を出し入れしながら産卵場所を丁寧に探索し、主に樹皮の裂け目や枝の付け根の樹皮の粗い部分に一個ずつ産卵する。一雌産卵数は1,200個内外であり、産卵数は数十という報告があるが、マジックテープを貼つけた飼育箱や脱脂綿をいれたポリカップ内では300個以上産卵する。

ふ化直後の幼虫は体長約3mm、新葉の裏側ないし辺縁部を好んで食する。2齢以降は葉縁の部分から摂食し、葉裏に多く、昼間摂食活動を行う。虫体に触れたり振動を与えると吐糸・懸垂する性質がある。5～6齢を経過した老熟幼虫は懸垂によって降下し、腐植質層中に深さ1～5cm程度潜り込んで蛹化する。

#### 2. 卵の樹幹分布

1991年1月29日に今帰仁村のイヌマキ造林地においてイヌマキ3本を任意に抽出し、地際部から伐倒した。これらを10cm間隔で梢頭部までリング状にマジックインクで区画した後、切り出しナイフ、ピンセットを用いて丁寧に樹皮を剥ぎ取り、それぞれの区画に産下された卵及び卵殻の数を調

査した。当該地のイヌマキの保育状況は明らかではないが、供試木については、表中Aは枝打ちが為されており、160cm以下の部位での出枝はなかった。Bは枝打ちは全く為されておらず、Cは初期に行われたような形跡があった。

調査結果は表-1及び図-9に示したとおりである。産卵は幹の中央部付近に集中し、地際部と梢頭部付近は比較的少ない。枝打ちが行われたと思われるAを除いて、枝数との卵数との関係は卵数がピークを示す部位までは正の相関が認められたが、それ以上の部位では負の相関を示した。枝数との関係も同様であることから、このような卵の分布は、むしろ中央部に適当な太さの枝が分布するため、産卵に好適な、樹皮のめくれ部位が集中し、しかも餌量が相対的に多いことを反映しているものと考えられる。なお、樹皮面積100㎡あたりに換算した平均卵数は、それぞれ2.04、11.63、0.90個で、部位によっては42個に達する箇所もあったが過密による産卵の回避は認められなかった。

表-1 卵の樹幹分布

イヌマキ個体樹高	A			B			C		
	卵数	枝数	幹周り(cm)	卵数	枝数	幹周り	卵数	枝数	幹周り(cm)
10	0	0		0	0		0	0	
20	0	0	90	7	0	94	0	0	129
30	0	0	88	16	1	86	0	0	111
40	0	0	84	26	0	82	0	0	107
50	0	0	82	24	3	82	0	0	107
60	2	0	81	37	0	81	0	0	103
70	1	0	77	54	2	80	0	0	91
80	0	0	78	57	0	78	0	0	88
90	1	0	78	39	2	77	2	0	86
100	10	0	77	52	0	75	0	0	87
110	11	0	74	81	2	81	2	2	85
120	4	0	66	86	3	74	5	4	101
130	8	0	66	94	1	70	5	3	97
140	14	0	72	78	3	70	0	3	81
150	6	0	60	49	1	67	5	4	96
160	15	0	64	81	0	70	0	0	80
170	34	2	62	76	5	66	4	7	90
180	51	6	61	84	2	63	9	5	80
190	2	0	53	146	1	65	0	5	75
200	29	6	55	107	7	61	7	5	72
210	23	4	49	122	1	57	6	4	69
220	21	4	49	26	4	55	12	5	74
230	7	3	46	219	0	52	6	4	62
240	32	3	43	169	5	52	30	7	73
250	7	1	40	162	2	45	0	0	47
260	43	5	56	71	4	43	37	6	53
270	22	3	35	74	0	39	0	0	44
280	14	7	34	99	2	38	25	8	45
290	9	4	30	104	5	38	23	4	39
300	8	4	27	64	7	33	4	2	36
310	0	0	21	8	3	28	14	5	35
320	2	6	18	21	0	27	7	4	34
330	0	7	15	24	3	24	0	0	24
340	1	5	14	26	6	21	20	10	34
350	0	6	12	13	4	20	0	0	22
360	0	4	10	0	3	16			
370				12		16			
380				0		14			
390				4		12			
400				2		10			
410				1		9			
420				0		6			
計	377		18.470	2.415		20.770	222		24.570

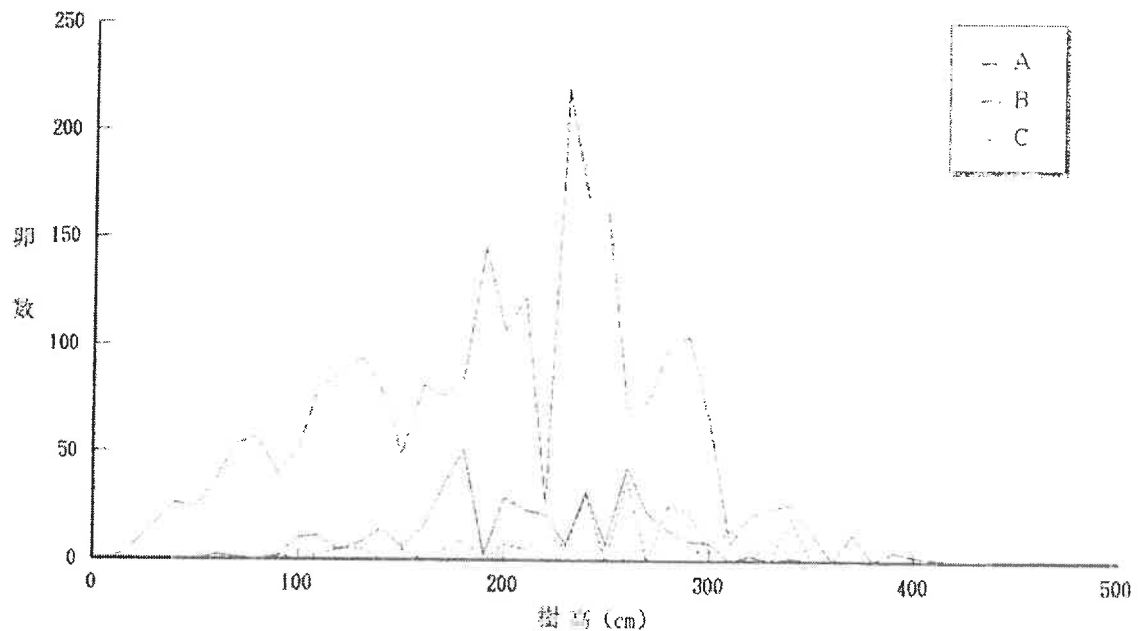


図-9 キオビエダシャク卵(殻)の樹幹分布

### 3. 発育速度

#### 1) 調査方法

1989年8月10日に沖縄本島で採集した成虫を30×40×40cmの飼育箱に入れて薄い蜂蜜を与えながら飼育した。採卵は飼育箱の外側から2.7cm幅のマジックテープを貼付け、これに産下にしたものを回収した。飼育は17、20、23、26℃に調整されたインキュベーター内で行った。飼育容器は卵～3齢幼虫までは90mm径のシャーレを、4齢以降は内径120mm、高さ90mmのポリカップを用いた。給餌は原則として毎日行い、林業試験場構内のイヌマキ葉を与えた。蛹については23℃において羽化個体が得られなかったため、8月中旬～10月下旬に野外から採集した終齢幼虫を23℃の条件下で飼育し、蛹化した個体を用いた。

#### 2) 調査結果

##### ① 卵と幼虫及び蛹の発育と温度の関係

卵期間は17℃で13～17日、平均15日、20℃で10～12日、平均11.2日、23℃で5～7日、平均6.1日、26℃で4～6日、平均4.9日であった。この結果から卵期間の発育速度(Y)と飼育温度(X)の関係を求めると

$$Y=0.0161X-0.2153 \quad (r=0.95)$$

となり、発育零点は13.4℃となる。

幼虫期間は17℃で49～56日、平均51.0日、20℃で34～41日、平均37.6日、23℃で30～34日、平均32.4日、26℃で34～42日、平均38.3日であった。この結果から幼虫期間の発育速度と温度の関係を示すと図-10の通りとなり、17～23℃までは発育速度は温度の上昇に伴って直線的に高まるが、26℃では逆に低下した。そこで26℃を除いて発育速度と温度の関係を求めると

$$Y=0.001916X-0.01320 \quad (r=0.94)$$

の回帰式が得られ、発育零点は6.73℃となる。

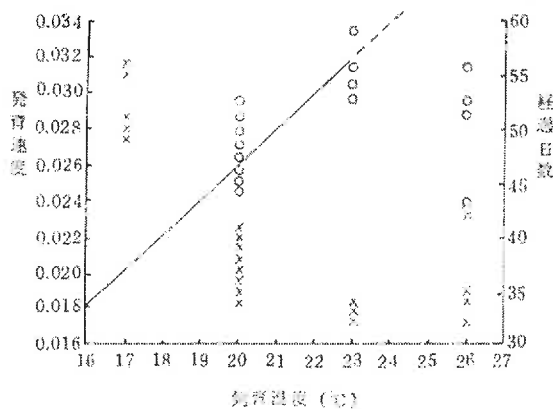


図-10 幼虫の発育速度と温度の関係

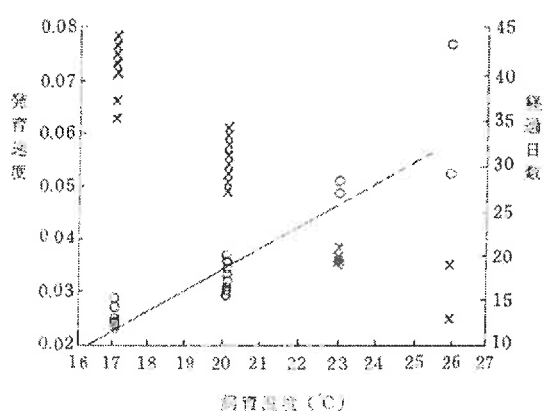


図-11 蛹の発育速度と温度の関係

蛹については23°Cで羽化した個体が得られなかったため、前述のように野外からの採集個体を用いて行った試験結果の平均値である17.3日を23°Cにおける経過日数として使用した。なお、前蛹期間については蛹期間との間に一定の関係が認められなかったため原データを用いた。これらの結果から全蛹期間と温度の関係を示すと図-11のとおりとなる。蛹でも26°Cで発育の低下がみられたので幼虫と同様に26°Cを除いた発育速度と温度の関係を求め、次の回帰式を得た。

$$Y = 0.003993X - 0.04515 \quad (r = 0.93)$$

この式から発育零点を計算すると11.4°Cとなる。

卵から羽化までの平均期間は17、20、23、26°Cでそれぞれ107.2、79.7、58.5、60.7日であった。以上の関係から卵から羽化までの発育零点は9.7°C、有効積算温度は808日°Cとなる。

一般に昆虫の発育零点は熱帯系のものほど高い傾向があり<sup>21)</sup>、沖縄に生息する昆虫の多くが10～13°Cの範囲にある<sup>22)</sup>とされる。一方、小泉<sup>23)</sup>は地理的な分布から熱帯系昆虫と考えられるテグス蚕の発育と温度の関係を求め、10～15°Cで温帯系昆虫と同様の発育をするが、30°C内外の高温には著しく弱いことを認めている。また、東<sup>24)</sup>らは同じく熱帯系昆虫と見られているヨナグニサン幼虫の発育零点を4.6°Cとしている。幼虫の発育零点がかなり低い値をとること等の点では熱帯系昆虫としては特異的と考えられる。しかし、26°Cでの発育速度が23°Cに比べて小さいことや30°Cの条件下で屋久島産の集団飼育で蛹化個体を得られなかったこと<sup>25)</sup>、また沖縄地方では盛夏に個体数が著しく減少する<sup>26)</sup>ことなどは、本種が熱帯性昆虫の特徴を有することを示唆するものであろう。

以上キオビエグジャクの発育と温度の関係について述べたが、発育特性については本種の天然分布域における生息環境や湿度等の条件を調査したうえで検討する必要がある。

## ② 幼虫の経過日数

ふ化幼虫が蛹化するまでの生存個体数は17°C、20°C、23°C、26°Cでそれぞれ10、7、5、4頭であった。供試虫数は当初各20頭であったが、飼育途中で人為による死亡や不明虫がそれぞれ1、0、2、1頭あったため、これらを差し引いて幼虫期間中の生存率を算出すると53、80、28、26%となった。飼育経過は表-2に示すとおりである。

表-2 各飼育温度における飼育経過

温度	番号	卵期間	幼虫期間						計	蛹期間			合計
			1齡	2齡	3齡	4齡	5齡	6齡		前蛹	蛹期	計	
17	1	15	6	8	8	5	9	20	56	5	39	44	115
17	2	15	7	7	6	11	20		51	5	38	43	109
17	3	15	7	7	7	10	24		55	4	31	35	105
17	4	15	8	7	7	11	17		50	4	37	41	106
17	5	15	6	7	6	10	20		49	4	36	40	104
17	7	15	6	7	6	9	22		50	4	38	42	107
17	8	15	6	6	6	10	21		49	46	37	43	107
17	9	15	7	8	7	11	17		50	7	36	43	108
17	11	15	6	7	6	9	21		49	5	32	37	101
17	12	15	6	8	6	11	20		51	6	38	44	110
20	1	11.2	5	6	6	8	10		35	5	29	34	80.2
20	2	11.2	5	5	7	7	12		36	5	25	30	77.2
20	3	11.2	8	5	7	7	13		40	5	22	27	78.2
20	4	11.2	5	4	9	7	14		39	4	24	28	78.2
20	5	11.2	4	5	5	5	6	14	39	6	26	32	82.2
20	6	11.2	4	5	5	5	7	15	41	4	24	28	80.2
20	7	11.2	4	7	4	8	14		37	2	25	27	75.2
20	8	11.2	5	6	9	7	11		38	7	22	29	78.2
20	10	11.2	6	5	7	8	14		40	5	26	31	82.2
20	11	11.2	5	5	6	8	16		40	6	27	33	84.2
20	12	11.2	5	5	5	8	13		36	7	21	28	75.2
20	13	11.2	3	10	7	6	13		39	5	27	32	82.2
20	14	11.2	4	5	6	8	11		34	4	30	34	79.2
20	17	11.2	4	5	6	8	13		36	5	28	33	80.2
20	18	11.2	4	5	6	8	13		36	5	29	34	81.2
20	19	11.2	3	5	7	7	14		36	5	29	34	81.2
23	4	6.1	6	3	4	5	6	8	32	3	17.6	20.6	58.7
23	7	6.1	7	3	5	3	7	8	33	2	17.6	19.6	58.7
23	8	6.1	5	9	4	6	10		34	2	17.6	19.6	59.7
23	9	6.1	6	7	4	4	9		30	3	17.6	20.6	56.7
23	10	6.1	5	4	7	6	11		33	2	17.6	19.6	58.7
26	5	4.9	6	3	4	4	7	11	35	1	12	13	52.9
26	7	4.9	7	3	5	8	19		42	1	18	19	65.9
26	8	4.9	4	3	4	5	5	11	32	2	17	19	55.9
26	9	4.9	4	3	4	5	5	13	34	2	17	19	57.9

経過齢数は5齡経過と6齡経過にわかれ、各飼育温度での6齡経過幼虫の出現率は5、10、40、75%であった。本種の経過齢数について、具志堅<sup>9)</sup>は冬季における飼育結果をもとに5齡としたが、今回の飼育結果から温度が上昇すると6齡を経過する個体の比率が高まる傾向が認められた。従って、経過齢は遺伝的に固定されたものではないと考えられる。

### ③ 幼虫の摂食量

摂食量の調査に先だって餌の生重量と乾燥重量を求め、餌として与えたものと同様の枝葉の生重量と乾燥重量を求めた。結果は表-3に示した。乾燥重量率は芽の新旧の構成、採取時期、枝と葉の割合で異なると思われたが、結果において差がなかったため飼育期間3回の測定の前平均値である41.5%を用いた。また、消化率の指標となる糞重量と摂食量との比は飼育温度で差がなかつ

たので平均値の1.27倍を摂食量/糞量とした。

表-3 飼育全過程における与えた餌と糞重量の関係

温度	容器	餌量	乾重換算	摂食量	糞量	摂食量/糞量
15	- 1	33.41	13.90	6.08	4.06	1.50
	- 2	44.39	18.46	11.17	9.32	1.20
20	- 1	39.90	16.60	12.63	11.29	1.12
	- 2	43.69	18.17	13.05	10.05	1.30
25	- 1	34.54	14.37	10.51	9.24	1.14
	- 2	33.79	14.06	11.53	8.26	1.40
平均			41.6%			1.27

表-4 飼育温度と糞量(乾重)の関係

温度	番号	1 齢	2 齢	3 齢	4 齢	5 齢	6 齢	計
17	1	0.014	0.032	0.042	0.073	0.282	2.393	2.837
17	2	0.029	0.023	0.039	0.236	1.921		2.247
17	3	0.025	0.014	0.055	0.177	1.571		1.842
17	4	0.026	0.033	0.057	0.191	1.602		1.909
17	5	0.019	0.021	0.042	0.167	2.052		2.305
17	7	0.012	0.021	0.034	0.213	2.454		2.733
17	8	0.026	0.025	0.054	0.17	1.692		1.966
17	9	0.021	0.032	0.053	0.249	1.802		2.157
17	11	0.007	0.025	0.034	0.217	1.774		2.057
17	12	0.014	0.023	0.032	0.23	1.632		1.931
平均		0.019	0.025	0.044	0.192	1.678	2.393	2.198
20	1	0.008	0.052	0.38	0.215	2.049		2.363
20	2	0.011	0.033	0.08	0.172	1.679		1.975
20	3	0.023	0.032	0.054	0.166	1.548		1.822
20	4	0.009	0.02	0.064	0.185	1.644		1.923
20	5	0.005	0.039	0.036	0.088	0.277	2.74	3.184
20	6	0.006	0.026	0.034	0.086	0.232	2.478	2.864
20	7	0.016	0.04	0.043	0.242	2.16		2.501
20	8	0.02	0.044	0.115	0.219	2.743		3.141
20	10	0.024	0.015	0.056	0.242	2.501		2.838
20	11	0.017	0.028	0.046	0.22	2.723		3.033
20	12	0.02	0.028	0.055	0.162	2.488		2.753
20	13	0.022	0.052	0.086	0.209	2.084		2.452
20	14	0.015	0.036	0.047	0.164	1.708		1.969
20	17	0.019	0.031	0.057	0.274	2.377		2.758
20	18	0.016	0.026	0.065	0.216	2.382		2.705
20	19	0.005	0.018	0.049	0.248	2.345		2.666
平均		0.015	0.033	0.058	0.194	1.934	2.669	2.559
23	4	0.012	0.015	0.037	0.078	0.297	2.083	2.521
23	7	0.028	0.005	0.022	0.063	0.275	2.173	2.565
23	8	0.008	0.055	0.08	0.364	2.236		2.743
23	9	0.011	0.025	0.093	0.235	2.341		2.705
23	10	0.02	0.018	0.106	0.306	2.374		2.825
平均		0.016	0.024	0.068	0.209	1.605	2.128	2.672
26	5	0.009	0.011	0.049	0.08	0.415	2.064	2.628
26	7	0.011	0.017	0.122	0.39	2.483		3.023
26	8	0.008	0.016	0.031	0.126	0.315	2.53	3.027
26	9	0.002	0.009	0.032	0.099	0.252	2.303	2.697
平均		0.007	0.013	0.058	0.174	0.866	2.299	2.844

表-4は飼育温度における各齢期間の糞量を個体ごとに示したものである。

5 齢経過個体と 6 齢経過個体に糞量の差は見られなかった。これらを込みにして温度と摂食量について見ると、17℃では2.198 g、20℃では2.559 g、23℃では2.672 g、26℃では2.844 gとなり、温度に比例して平均摂食量は増加しているが、20℃でのバラツキが大きく、統計的に有意な差は認められなかった。

そこで発育期間を考慮してこれを経過日数で除して1日当りの糞量を求めた。結果は図-12に示すとおりとなり、温度と糞量に明瞭な関係が見られた。このことから、一日当りの糞量は温度が高くなるほど増加するが、逆に高温域では発育期間が短くなるため、全幼虫期間の糞量は温度の如何にかかわらず大よそ一定になることが示唆された。

以上の結果から幼虫一頭あたりの食害量を求めると17、20、23、26℃でそれぞれ28、32、34、37枚となった。

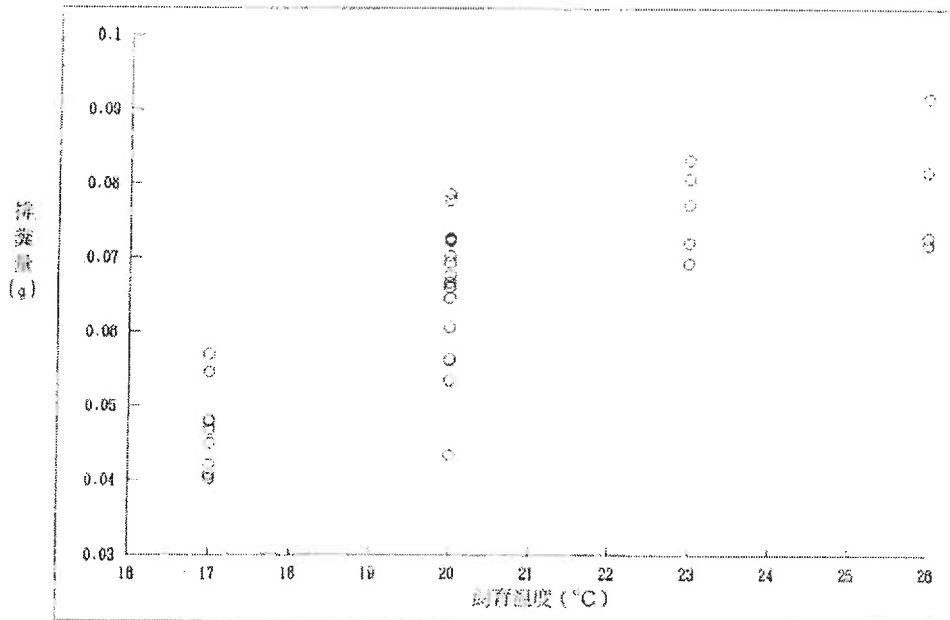


図-12 一日あたりの排糞量と温度の関係

一般に飼育虫の摂食量は自然状態よりも過小になりやすいとされており、また、キオビエダシヤク幼虫はいつでも葉の先端部から摂食するとは限らず、一本の針葉の中途から摂食する場合があります、このような時には先端部が落下する。従って現実にはこれ以上の失葉量になることが予想される。

つぎに糞量の増加パターンと温度の関係を検討した。図-13、図-14はそれぞれ5 齢経過個体、6 齢経過個体から代表例をあげ、縦断的に増加の様相を示したものである。

各齢の全幼虫期間の糞量に占める割合は5 齢経過個体の場合、平均でそれぞれ0.7、1.2、2.5、9.3、86.2%で6 齢経過個体ではそれぞれ0.4、0.7、1.3、3.1、10.5、84.1%となった。

幼虫の糞量は齢の進行とともに幾何級数的に増加し、いずれにおいても20~26℃までは概ね同様の増加率を示すが17℃では明らかに低下した。

幼虫の摂食量が齢の進行とともに増加するのは極めて一般的な事象であるが、本種の場合にも同様であり、幼虫期間の摂食量のほとんどは終齢幼虫が占めている。従ってイヌマキ林分における摂食加害が問題になるのは終齢幼虫である。

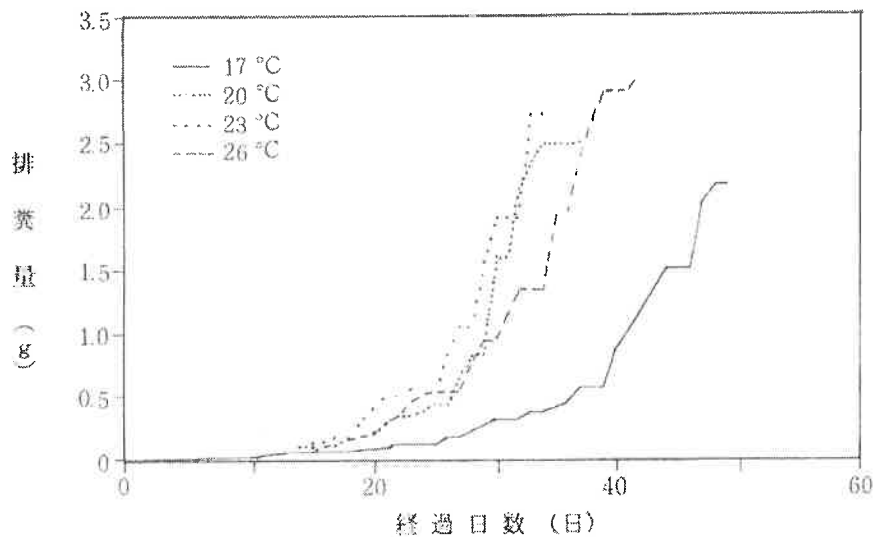


図-13 5 齢経過個体の排糞量の増加パターン

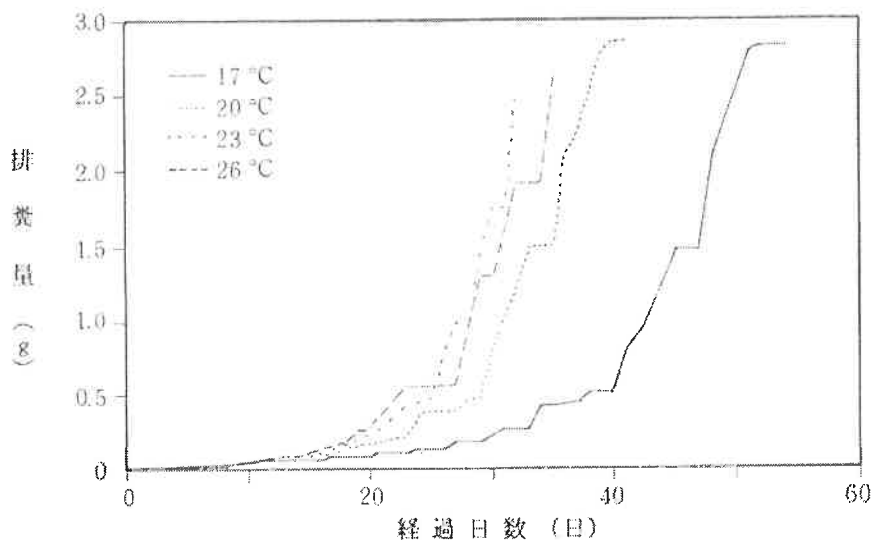


図-14 6 齢経過個体の排糞量の増加パターン

#### IV 個体群動態

一次性害虫であるキオビエダシャクの被害は、もっぱらその個体数に規定される。個体数は出生と死亡、移入と移出によって常に変動しており、その増減を予測するためには密度変動機構を明らかにする必要がある。このようなことから個体群動態調査と密度分布様式の検討を行い、その結果から密度推定法を検討した。また、在来天敵の評価を試みた。これらの結果は既に報告したので、ここではその要旨を述べるにとどめる。

##### 1. 発生消長と密度分布様式

###### 1) 調査方法

国頭村奥および辺野喜地内のイヌマキ造林地に固定調査地を設定し、昭和62年から平成元年12月



での2カ年間、定期的に幼虫個体数の調査を行った。調査は全数調査とし、調査木を単位に発育段階ごとに行った。この結果をもとに密度分布様式と密度推定法について検討した。

## 2) 調査結果

発生消長は図-15に示すとおりである。幼虫は年間を通して確認された。特に奥調査地においては調査を開始した1986年12月の個体数はゼロであったが、翌年の同月は9月から徐々に増加しだした個体数のピークを迎えており、同一場所であっても発生時期にズレがみられた。また、1988年4月には一本当りの密度が291頭にも達する程の大発生であったにもかかわらず、辺野喜調査地ではわずか0.04頭と2月から10月までの極小値を示した。逆に1987年3月から4月まで、及び1988年6月下旬から10月初旬までは辺野喜調査地の個体密度が高くなった。

このような時間的、空間的ズレが生じる原因については、次のような推測が可能であろう。すなわち個体群の密度の上限は基本的には餌の量に規定され、個体数の増加期において、一旦個体数がある程度増加すると、天敵からのエスケープが起こるため、急速に個体数が増加し続けるが、餌がなくなると個体数が過飽和状態に達するため、激減する。この結果、キオビエダシヤクの生息環境が不適になり、成虫は他の場所へ分散していく。成虫の飛翔力が大きいということは、このような移動分散にうまく適合しているといえる。

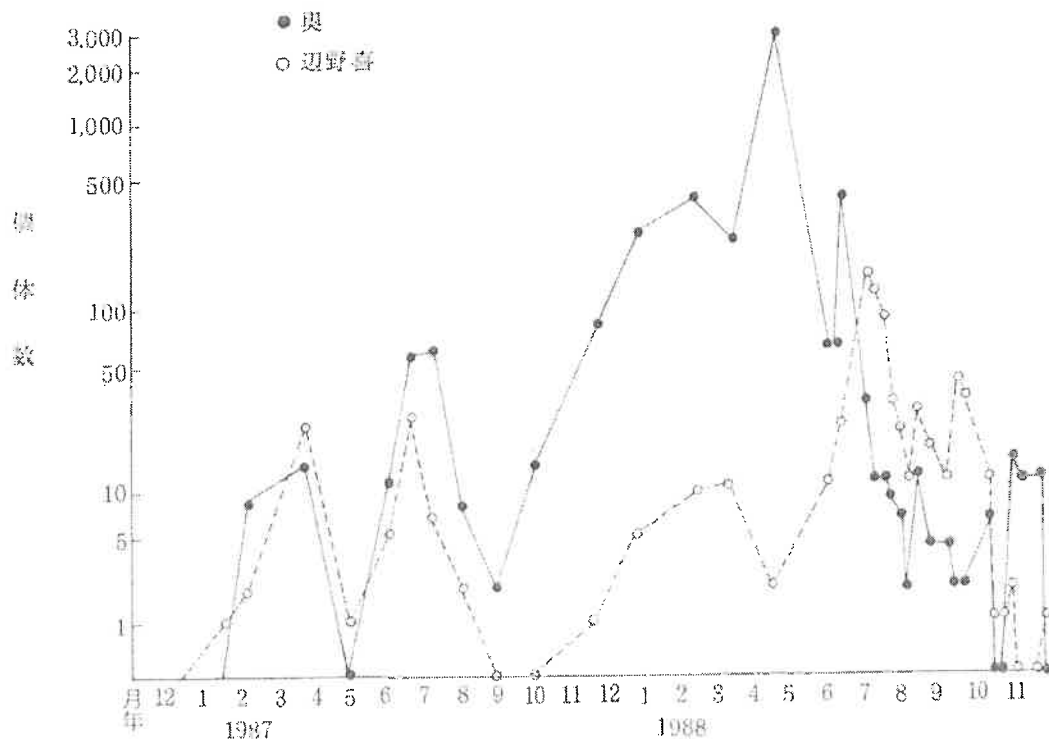


図-15 発 生 消 長

キオビエダシヤクの個体数は、ある程度密度が高まると急激に増加し、餌がなくなるまで世代を繰り返すことも珍しくない。このような異常な密度の高まりの原因を個体群全体の密度の高まりと一本当りの密度の関係から得られる $m$ - $\log$ 回帰分析法を用いて検討したところ、図-16、17に示すように、各発育段階とも集中分布型で直線関係は高密度でも維持された。このことから、幼虫個体

間には種内競争がないこと、密度依存的に作用する天敵が存在しないことが考えられる。

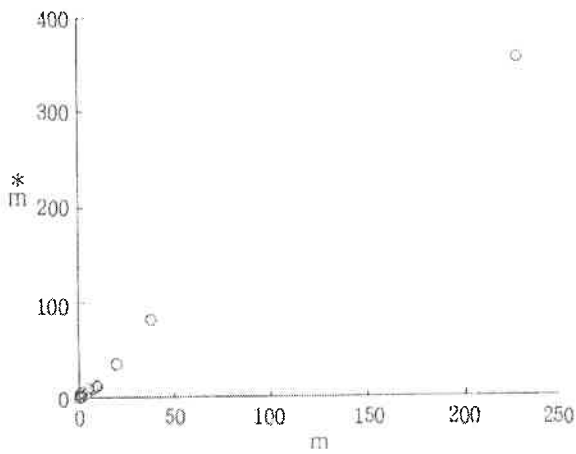


図-16 若齢幼虫の  $m - *m$  関係

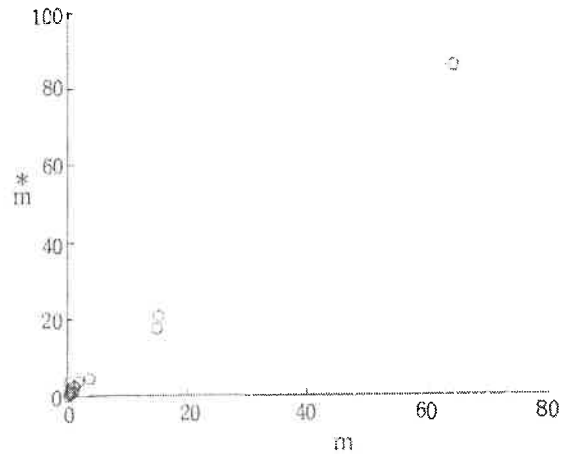


図-17 老齢幼虫の  $m - *m$  関係

## 2. 密度推定法

### 1) 使用データ

密度推定のために用いた資料は調査本数が比較的多い辺野喜のもので、幼虫数は各齢の合計である。

### 2) 調査結果

前述のように、キオビエグシャク幼虫の分布様式は集中度が高く、精度の高い密度推定を行うためには数多くの調査本数で、かつ全数調査を必要とする。しかし、発生予察のための巡回調査ではこのような調査は実際上極めて困難である。河野・杉野<sup>2)</sup>はニカメイチュウの被害茎率と株当たり幼虫密度との間に

$$p = 1 - e^{-am^2}$$

の関係が成り立つことを経験的に明らかにした。同様の関係がキオビエグシャクでも成立すれば直接虫数を数えないで簡易に密度を推定することが可能と考えられる。図-18にキオビエグシャクの株当たり平均密度と幼虫存在率を示した。ここで、まず幼虫が存在する株の割合をP、その時の幼虫密度をmとして  $\log_e m$  と  $\log_e \{-\log(1-P)\}^2$  との間に直線関係が成り立つかを知るため、単回帰分析を行った。その結果

$$\log_e m = 0.5587 + 0.8811 \log \{-\log(1-P)\}^2 \quad (r=0.9564)$$

の関係が認められ、存在率からイヌマキ林でのキオビエグシャクの密度推定は可能と考えられた。一方、久野<sup>3)</sup>は幼虫密度の推定と特定の精度で推定するために必要な調査本数を求める次の計算式を紹介している。

$$\text{幼虫密度 } m = \{-1/a \log_e(1-P)\}^{1/2}$$

$$\text{必要調査本数 } qD = 1/D^2 \cdot 1/b^2 \cdot P/1-P \{-\log_e(1-P)\}^{-2}$$

D: 相対精度

これらの式を用いて存在率からイヌマキ一本当たりの個体数の推定値と必要本数を求めて表-5に示した。この方法を用いた場合、必要調査本数は大きくは減少しないまでも調査が簡便なため、時間

的、労力的負担の軽減を図ることが期待できよう。なお、実際の問題として、幼虫が存在する、しないを正確にとらえるには注意深い観察力が要求されるため、適用に際しては細心の注意が必要である。

表-5 存在率(P)と平均密度推定値(m)の関係および必要調査本数(n)

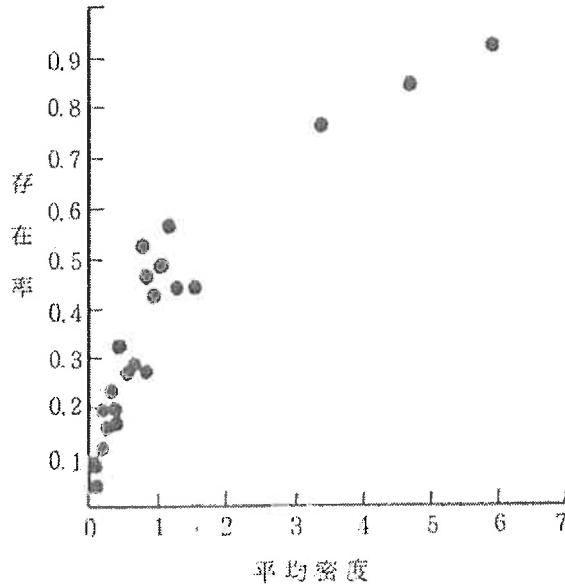


図-18 平均密度と存在率の関係

存在率 (P)	平均密度推定値 (m)	必要調査本数 (n)
0.02	0.042	1,386
0.04	0.085	623
0.06	0.129	462
0.08	0.174	347
0.1	0.22	278
0.15	0.339	186
0.2	0.465	140
0.25	0.6	112
0.3	0.744	94
0.35	0.899	81
0.4	1.066	71
0.45	1.247	64
0.5	1.446	58
0.55	1.666	54
0.6	1.911	50
0.65	2.019	47
0.7	2.511	45
0.75	2.892	44
0.8	3.357	43
0.85	3.957	44
0.9	4.80	48
0.95	6.249	59

### 3. 生命表

#### 1) 調査方法

マジックテープに産下させた卵を用いて、付け加えによる生命表の作成を行った。卵の接種は1992年6月と同年12月に行い、6月接種区では対照区（捕食・寄生性天敵除去区）としてゴース網掛け区を設定し、天敵動物の評価を試みた。供試卵数は6月接種区が50頭、12月接種区は接種区は供試木を3本設け、それぞれ100、100、50個の卵を接種した。なお、卵の付け加えはマジックテープごと押しピンで直接樹幹に固定した。網掛け区の個体は、ふ化当初は全幼虫を一つの網に収容したが、発育に応じて網の数を増やして適宜、任意の別の枝に分散させた。

#### 2) 調査結果

図-19に6月接種区の、図-20に12月接種区の生存曲線を示した。表-6には図-20に対応する生命表を掲げた。卵は産下当初は緑色を呈し、ふ化が近づくにつれて褐変するが、不ふ化卵は緑色のままであったことから未受精卵と判断された。このような不ふ化卵が自然条件下で普通に起きているとは考えにくい。そこで、不ふ化卵を除いて生存曲線を修正し、図-21に示した。

生存曲線は接種時期を異にした場合でも、網掛けをした場合でも同様のパターンを示し、いずれも明瞭なL字型であった。

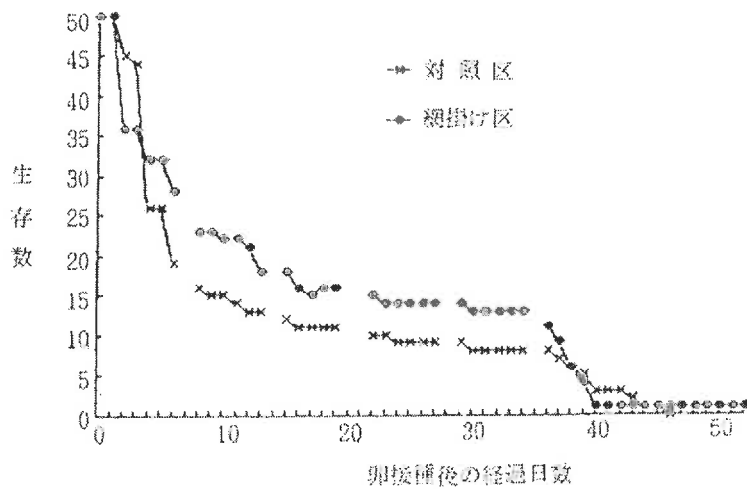


図-19 6月接種卵の生存曲線

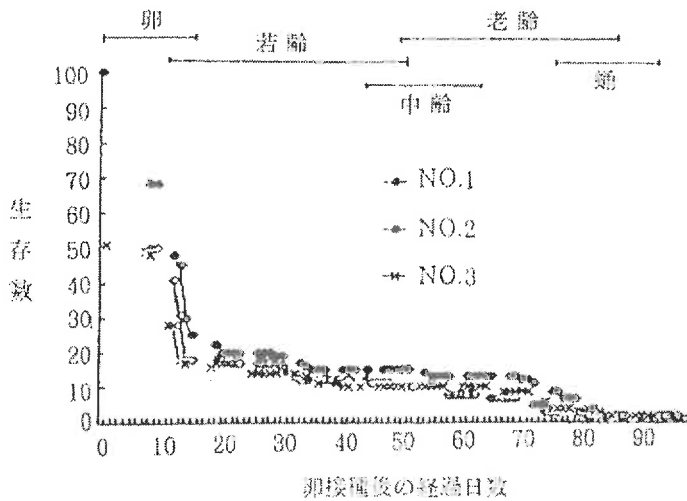


図-20 12月接種卵の生存曲線

6月接種区では卵接種の翌日から7日連続して降雨があり、特にふ化がそろそろ5日目には57mm、一時間雨量も33mmに達するほど激しい雨があった。台風後に個体群密度が減少することは経験的に知られているが、この実験から通常の条件下では降雨は直接死亡要因としては重要ではないと考えられる。

これらの実験すべてにおいて、実験開始後一週間に急激な減少傾向がみられるが、その大部分はヒメアリによる捕食であった。このアリは網掛け区においても枝と網の隙間から侵入し、集団で卵やふ化直後の幼虫をくわえさった。

若齢期ではヒメアリのほかにヤミイロカニグモ、ヤマシロオニグモ、シマササグモによる捕食が確認された。

中齢期ではチャスジハエトリの捕食と硬化病の症状を呈した死亡が1個体あっただけである。老熟～蛹期では個体数の減少が著しかった。その大部分は行方不明であった。このような不明個体を

死亡要因に組み入れるべきかどうかについては検討を要するところであるが、本報では、とりあえず死亡として扱った。

蛹期では6頭のうち4頭が羽化せずに死亡した。死亡要因はクワゴヤドリバエ、羽化失敗、乾燥によると思われる死亡、不明であった。

表-6 12月接種卵の簡易生命表

No.1

发育段階	初期数	死亡数	死亡要因
卵	64	40	ヒメアリ、不明
若 齡	24	13	クモ類、不明
中 齡	11	0	
老 齡	11	9	セラチア、蛹化失敗、不明
蛹	2	1	乾燥?
成 虫	1		

No.2

发育段階	初期数	死亡数	死亡要因
卵	70	52	ヒメアリ、不明
若 齡	18	10	ヒメアリ、クモ類、不明
中 齡	8	0	
老 齡	8	6	不明
蛹	2	1	クワゴヤドリバエ
成 虫	1		

No.3

发育段階	初期数	死亡数	死亡要因
卵	39	22	ヒメアリ、不明
若 齡	17	7	ヒメアリ、クモ類、硬化病?、不明
中 齡	10	1	クモ
老 齡	9	7	クワゴヤドリバエ、不明
蛹	2	2	羽化失敗、不明
成 虫	0		

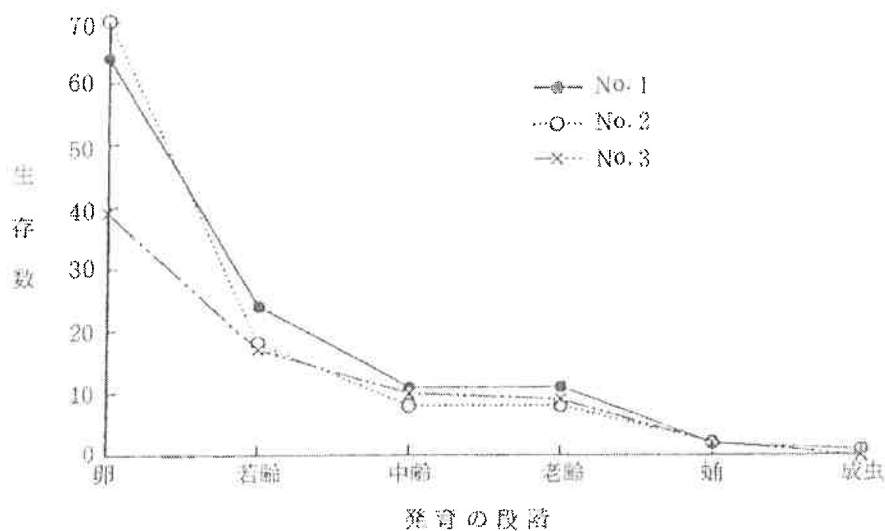


図-21 不ふ化卵を除く12月接種の生存曲線

#### 4. 天敵の評価

##### 1) クワゴヤドリバエの寄生率

イヌマキ林にキオビエダシヤクが発生した際、クワゴヤドリバエの寄生を受けた幼虫が見られることが多く、本種がキオビエダシヤクの密度変動に少なからず影響を与えていると思われた。そこで実際の林分においてヤドリバエの寄生対象となる4、5 齢幼虫密度と寄生率の関係について調査した。結果は図-22に示したとおりである。ヤドリバエの寄生数はキオビエダシヤクの密度に比例して増加している。しかし、寄生率は逆に低密度で大きくばらつきながら密度の高まりとともに急激に低レベルに収束しており、エスケープが起こっていることが読み取れる。このことから、クワゴヤドリバエのキオビエダシヤクに対する作用は密度逆依存的で、密度が極めて低い場合には密度抑制に関与することはあっても、ある程度密度が高まるとキオビエダシヤクの増殖についていけないことを示すものであり、従って一旦大発生した個体群の密度抑制にはほとんど関与していないと考えられる。

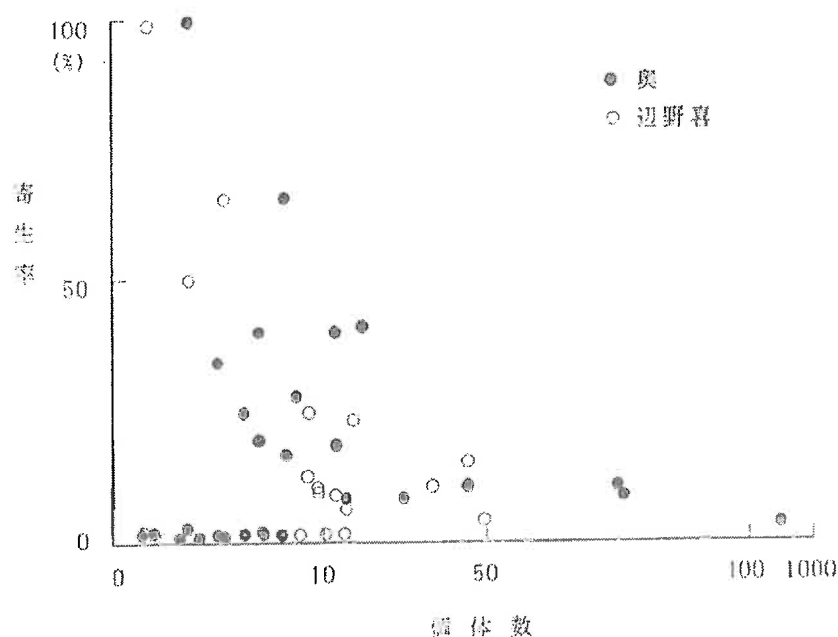


図-22 キオビエダシヤク4、5 齢幼虫密度とクワゴヤドリバエの寄生率との関係

##### 2) クモ類の捕食

イヌマキ樹上で見られたクモ類を採集し、プラスチック容器に一頭ずつ入れた。実験は6月8日に幼虫を与え、10日に捕食(かみ殺しも含む)された数を調べた。結果は表-7のとおりであった。徘徊性に属する表中6~10のクモは匍行する幼虫に対して攻撃的であったが、捕食よりも単にかみ殺すことが多かった。造網性に属するその他のクモは網に触れたものしか捕食しなかった。ヤマシロオニグモは攻撃性が他のクモよりも強く、カップ中の幼虫すべてが数時間内にかみ殺された。また、抱卵中のシマササグモは幼虫が触れても攻撃しなかった。

以上のことから、造網性のクモは何等かの刺激によって網に落下した幼虫しか捕食しないと思われた。また、クモ類は多種捕食性であることから、クモ類の捕食によるキオビエダシヤク幼虫の死亡率は小さいと考えられた。

表-7 クモ類の捕食調査結果

No.	種名	投与数			摂食数			備考
		若齢	中齢	計	若齢	中齢	計	
1	オニグモ <i>Araneus ventricosus</i>	—	2	2	—	0	0	
2	ホシスジオニグモ <i>Neoscona theisi</i>	2	—	2	2	—	2	
3	〃	—	2	2	—	2	2	
4	ヤマシロオニグモ <i>Neoscona scylla</i>	2	2	4	2	2	4	
5	〃	—	3	3	—	3	3	
6	オオハエトリグモの一種 <i>Marpissa sp.</i>	2	2	4	0	0	0	
7	チャスジハエト <i>Plexippus paykulli</i>	3	—	3	3	—	3	かみ殺し
8	ヤミイロカニグモ <i>Xysticus ventricosus</i>	—	2	2	—	1	1	かみ殺す
9	シマササグモ <i>Oxyopes macilentus</i>	2	2	4	1	1	2	
10	〃	3	1	4	0	0	0	抱卵雌
11	オオシロネグモ <i>Leucauge magnifica</i>	2	—	2	0	—	0	
12	〃	1	—	1	1	—	1	網に捕捉

### 3) 鳥類の捕食

キオビエダシヤク幼虫は振動に対して懸垂・落下する習性がある。このような性質は捕食者からの逃避行動とも考えられる。鳥類が特定の昆虫の個体群動態に重要な役割を演じている多くの報告があり<sup>20,21)</sup>、日高<sup>22)</sup>は林内に巣箱を設置して鳥類を誘致することがキオビエダシヤク駆除に有効であると述べている。しかし、古くから造林が行われてきた石垣島、久米島、波照間島、与那国島での聞き取り調査でもこのことを示唆する情報は得られていない。

実験にはニワトリ（白色レグホン幼鳥）、ヒヨドリ、メジロを供した。これらの鳥類を1m×1m×1mの飼育ケージに入れ、数日飼育慣らし後にケージの床にそのまま幼虫を数頭放し、つつき行動と燕下行動を観察した。その結果、ニワトリは数回つつくことはあったが燕下することはなかった。ヒヨドリ、メジロはつつくこともなかった。このことから、鳥類の捕食によって密度が抑制されている可能性は低いと考えられた。

## V 防 除

### 1. 薬剤防除

沖縄地方で、イヌマキ造林地に本格的に薬剤防除が行われるようになったのは1960年以降で、防除薬剤はBHCであった。この薬剤は幼虫に対して卓効を示したようである。1971年に農薬取締法が改正されるに伴い、代替農薬としてディブテレックスが登場した。しかしディブテレックスの本種幼虫に対する効果には現場から疑問がたつたので、試験を行ったところ、終齢幼虫に対しては必ずしも満足できる効果は得られなかった。このため、これに替わるべき薬剤を選択する目的で数種の薬剤について、殺虫試験を行った。

#### 室内試験

供試虫：供試虫は終齢幼虫とした。終齢幼虫の選定基準は概ね体長が32mm、頭幅が2.7mmをこえ

るものとした。

### 1) 試験方法

イヌマキ幼樹木に供試虫を20頭ずつ放し、これらが定着した頃に所定の濃度に希釈した薬液を、ハンドスプレーを用いて枝葉から滴り落ちる程度散布した。散布後は直ちに飼育箱に枝葉ごと収容し3時間後、6時間後、24時間後、48時間後における健全虫、マヒ虫、死虫数を調べた。また、葉害についてはポット植えの1年生苗に散布し、一週間観察した。

### 2) 試験結果

試験結果は図-23のとおりである。トクチオン、スミチオン、マラソンは普通物として扱われ、人畜に対する毒性は比較的低い。これに対し、スプラサイドは1,000倍液、1,500倍液で散布後3時間以内に、2,000倍液でも24時間以内に全ての供試虫が死亡した。3,000倍液では24時間後に95%の殺虫効果が得られたが、この時点で生存していた2頭は48時間後においても依然健全のままであった。

葉害はいずれの供試薬剤にも認められなかった。

以上の結果から、ディフアレックスと同等またはそれ以上の殺虫効果が認められたのはスプラサイド、スミバイン1,000倍液、バプチオンの3薬剤であり、中でもスプラサイドは卓効を示した。なお、スミバインはスミチオンの濃度を80%に高めたものであり、その1,000倍液はスミチオンの500倍液に相当する。

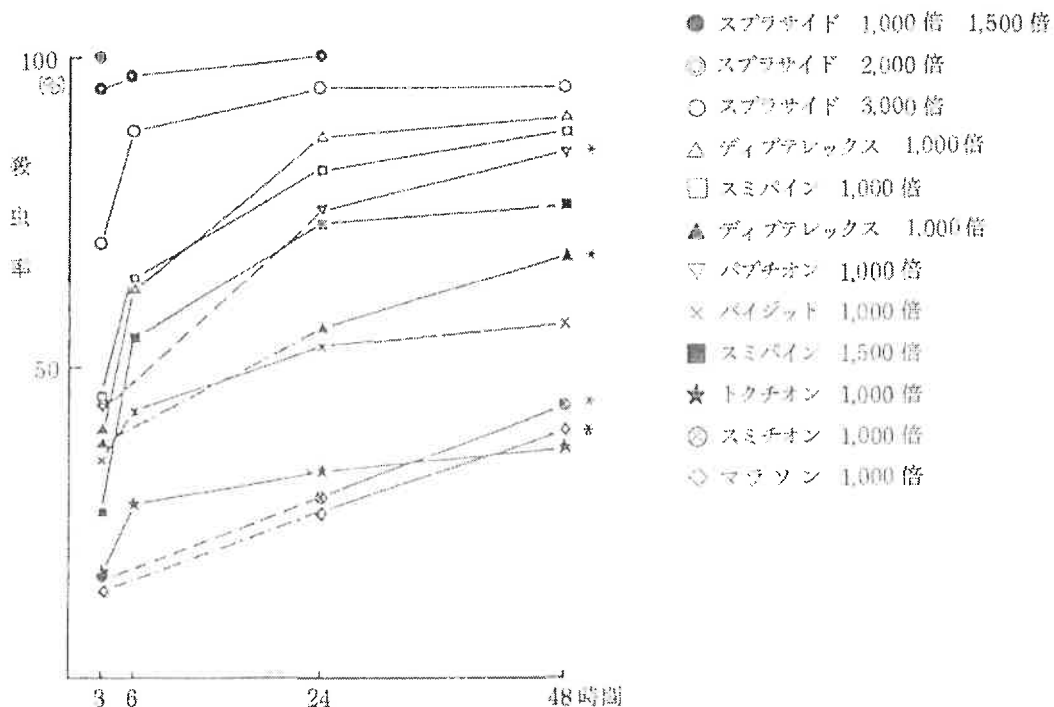


図-23 各薬剤の殺虫率の経時変化

## 野外試験

### 1) 調査方法

付着幼虫数の比較的多い樹高3m前後のイヌマキを5本選び、上記の室内試験結果をふまえて選



択したスプラサイド2,000倍液を背負い式散布器を用いて枝葉から薬液が滴り落ちる程度に散布した。効果調査は24時間後に行った。なお、この間に降雨はなかった。

## 2) 試験結果

結果は表-8のとおりであり、いずれの供試木についても100%の殺虫率が得られた。

一般に害虫の駆除は食害量が殺虫剤に対する抵抗力の弱い若齢期に行うことが基本となるが、キオビエグシャクの場合、世代間隔が短く、個体数急激に増加するため、被害を察知しうる時点では齢期がすでに重なっていることが殆どである。したがってキオビエグシャクの駆除にはスプラサイドのような終齢幼虫に対する効果の高い薬剤が特に必要である。

表-8 スプラサイド2,000倍液野外試験結果

供試木No.	付着固体数(推定)		駆除率	被害程度(食害量)
	散布前	散布24時間後		
1	60	0	100%	70%
2	40	0	100	90
3	70	0	100	50
4	60	0	100	80
5	80	0	100	70
計	310	0	100	

## 2. 若齢幼虫に対する脱皮阻害剤(ディミリン)の効果試験

### 1) 実験方法

昭和56年6月初旬に今帰仁村宇崎山のイヌマキ造林地から成虫を採集し、飼育箱内で産卵させ、ふ化した幼虫(日齢2~4日)を供試した。ディミリンの希釈倍数は4,000倍、6,000倍とした。

イヌマキ幼齢木(樹高70cm)に幼虫10頭を放し、これらが定着した頃にハンドスプレーを用いて薬液が枝葉から滴り落ちる程度散布し、散布3時間後に幼虫を回収し、薬剤無散布の新鮮な餌で飼育し、給餌試験については薬剤散布薬を与えて飼育した。飼育は網蓋付飼育瓶(直径11cm、高さ17cm)で行い、散布後2日、5日、10日、20日目における幼虫の生、マヒ、死虫数及び落下排糞量を測定した。なお、糞量は80℃で20~26時間乾燥後測定した。繰り返しは5回とした。

### 2) 実験結果

殺虫試験結果を表-9に、給餌試験結果を表-10に示した。

殺虫試験では死亡虫の大部分は散布後2日目頃から10日目以内に現れており、それ以降は急激に減少した。散布20日後における致死率は6,000倍区が74.5%、4,000倍区が80.9%となり、大きな差は見られない。生存虫1頭あたりの排糞重量は散布後5日目頃までは差は見られないが、10日目以降については無処理区>6,000倍区>4,000倍区となり、食餌量の減退が伺える。給餌試験では6,000倍区が散布後15日以内に、4,000倍区が10日以内に全個体が死亡した。

表-9 殺虫試験結果

処 理 別	繰り返し	2 日				5 日				10 日				15 日				20 日				20 日 目 に お け る 補 正 マ ヒ ・ 死 虫 率 %					
		生	マ ヒ	死	糞 量	マ ヒ ・ 死 虫 率 %	生	マ ヒ	死	糞 量	マ ヒ ・ 死 虫 率 %	生	マ ヒ	死	糞 量	マ ヒ ・ 死 虫 率 %	生	マ ヒ	死	糞 量	マ ヒ ・ 死 虫 率 %						
デ ミ リ ン 水 和 劑 6000倍	1	8	0	2	0.010	20	6	0	4	0.033	40	6	0	4	0.332	40	5	0	5	0.616	50	5	0	5	1.792	50	
	2	7	2	1	0.011	30	3	0	7	0.012	70	2	0	8	0.127	80	1	0	9	0.243	90	1	0	9	0.273	90	
	3	4	2	4	0.007	60	4	0	6	0.025	60	3	0	7	0.213	70	3	0	7	0.704	70	3	0	7	1.021	70	
	4	6	1	3	0.008	40	3	1	6	0.026	70	1	0	9	0.035	90	1	0	9	0.193	90	1	0	9	0.382	90	
	5	4	1	5	0.006	60	2	0	8	0.013	80	2	0	8	0.146	80	2	0	8	0.450	80	2	0	8	0.642	80	
	計	29	6	15	0.042	42	18	1	31	0.109	64	14	0	36	0.853	72	12	0	38	2.220	76	13	0	38	4.116	76	74.5
デ ミ リ ン 水 和 劑 4000倍	1	7	1	2	0.009	30	7	0	3	0.034	30	7	0	3	0.341	30	6	0	4	1.250	40	5	0	5	1.304	50	
	2	4	0	6	0.006	60	0	0	10	0.002	100																
	3	5	1	4	0.010	50	5	0	5	0.023	50	2	0	8	0.244	80	2	0	8	0.487	80	2	0	8	0.408	80	
	4	2	0	8	0.004	80	1	0	9	0.005	90	1	0	9	0.024	90	1	0	9	0.317	90	1	0	9	0.563	90	
	5	5	0	5	0.006	50	1	0	9	0.005	90	1	0	9	0.015	90	1	0	9	0.285	90	1	0	9	0.457	90	
	計	23	2	25	0.035	54	14	0	36	0.074	72	11	0	39	0.634	78	10	0	40	2.345	80	9	0	41	2.734	82	80.9
無 処 理	1	10	0	0	0.013	0	10	0	0	0.039	0	10	0	0	0.791	0	10	0	0	3.108	0	10	0	0	4.375	0	
	2	9	0	1	0.014	10	9	0	1	0.042	10	9	0	1	0.703	10	8	0	2	2.370	20	8	0	2	3.446	20	
	3	10	0	0	0.016	0	10	0	0	0.030	0	10	0	0	0.934	0	10	0	0	3.062	0	10	0	0	4.356	0	
	4	10	0	0	0.023	0	10	0	0	0.049	0	10	0	0	0.870	0	10	0	0	2.225	0	10	0	0	3.936	0	
	5	10	0	0	0.018	0	9	0	1	0.049	10	9	0	1	0.582	10	9	0	1	2.764	10	9	0	1	4.302	10	
	計	49	0	1	0.044	2	48	0	2	0.249	4	48	0	2	3.900	2	47	0	3	13.529	6	47	0	3	20.417	6	

表-10 給餌試験結果

処 理 別	繰り返し	2 日				5 日				10 日				15 日				20 日								
		生	マ ヒ	死	糞 量	マ ヒ ・ 死 虫 率 %	生	マ ヒ	死	糞 量	マ ヒ ・ 死 虫 率 %	生	マ ヒ	死	糞 量	マ ヒ ・ 死 虫 率 %	生	マ ヒ	死	糞 量	マ ヒ ・ 死 虫 率 %					
デ ミ リ ン 水 和 劑 4000倍	1	2	0	8	0.004	80	0	0	10	0.002	100	0	0	10	—	100										
	2	3	1	6	0.006	70	1	0	9	0.002	90	0	0	10	—	100										
	3	0	3	7	0.003	100	0	0	10	—	100	0	0	10	—	100										
	4	0	2	8	0.002	100	0	0	10	—	100	0	0	10	—	100										
	5	4	0	6	0.007	60	1	0	9	0.003	90	0	0	10	—	100										
	計	9	6	35	0.022	82	2	0	48	0.007	96	0	0	50	—	100										
デ ミ リ ン 水 和 劑 5000倍	1	4	3	3	0.007	60	2	0	8	0.004	80	0	0	10	0.001	100	0	0	10	—	100					
	2	3	3	4	0.007	70	0	0	10	0.002	100	0	0	10	—	100	0	0	10	—	100					
	3	7	1	2	0.009	30	2	1	7	0.005	80	0	1	9	0.002	100	0	0	10	—	100					
	4	6	2	2	0.009	40	1	1	8	0.003	90	1	0	9	0.004	90	0	0	10	—	100					
	5	4	1	5	0.006	60	2	0	8	0.006	80	0	0	10	0.001	100	0	0	10	—	100					
	計	24	10	16	0.038	52	7	2	41	0.020	86	1	1	18	0.008	98	0	0	50	—	100					

### 3. 天敵微生物による防除

#### 1) バチルス・チュリンゲンシス (*Bacillus thuringiensis*)

国立林業試験場(現森林総合研究所)から取り寄せたT-84-A株を肉汁寒天培地上で培養し、1ccあたりの芽胞数が $10^7 \sim 10^8$ になるように調整した懸濁液にイヌマキ葉を浸したのち風乾し、幼虫への給餌試験を行ったが、効果は認められなかった。(具志堅 卒論)

#### 2) 糸状菌

ホーベリア・バッシアナ *Beauveria bassiana* (596株)、メタリジウム・アニソプリエ *Metarhizium anisopliae* (544-1株、199株)について同様の試験を行ったが、いずれも効果は認められなかった(具志堅・島津:未発表)。一方、張(元台湾省林業試験所研究員)はホーベリア・バッシアナ胞子を筆で直接幼虫体表へ塗布し、効果を認めている(私信)。しかし、菌株、胞子数が未知であり、接種方法が不自然で、飼育条件が密閉容器内であることなど、試験方法上の問題点も残されている。

### 4. 生態的防除の検討

幼虫は振動に対して懸垂・落下する習性がある。この性質を利用して新たな防除方法を開発するため、音響を用いた落下実験、懸垂後、幼虫がもとの位置に戻るのに要する時間の測定、及び糸を切られた幼虫の行動を観察した。

なお、本試験は音響による落下に関しては森林総合研究所九州支所が、登上阻止効果試験については県林試が中心になって行った。

#### 音響による落下試験

##### 1) 実験方法

野外から採集した幼虫を終齢幼虫と若齢幼虫に分け、それぞれ10~20頭を室内で鉢植えのイヌマキ葉に放し、低周波発信器で発生させた20~20KHZの正弦波と方形波、及びCDプレーヤーで再生した太鼓の音をホーンスピーカーを介して60~90dB(鉢植えの位置)で与えた。また、ブックシェルフ型スピーカーを床の上に置き、同じ音圧で与えた。

低周波は低周波発信器で調節し、音量はアンプで調節した。音圧は幼虫がいる位置でサウンドレベルメーターを用いて測定した。

##### 2) 実験結果

ホーンスピーカーではいずれの場合にも全く懸垂反応は見られなかった。これに対しブックシェルフ型スピーカーを直接床に置いた場合では終齢幼虫はほとんど反応を示さなかったが、若齢幼虫は25~33%が懸垂反応を示した。従って少なくとも若齢幼虫は空気振動に対してよりも基質(スピーカー→床→幹→葉)を伝わる振動に反応しやすく、また単純な音ではなく、衝撃波のように振幅の激しい音が必要と考えられた。それゆえ野外で音を発生させて幼虫を落下させるには、空気を伝わる音圧で葉が振動するか、地面を伝わる音が葉に伝わるかのどちらかでなければならず、いずれにしろ極めて大きな音圧(エネルギー)が必要である。

強制的に懸垂させた幼虫が再度糸を伝って登上するのに要する時間の結果を表-11に示した。

表-11 強制的に懸垂させた場合の再登場実験結果

個体	高さ	着地時刻	登開始	登終了	静止時間	登時間	備考
1	120	49:00	53:00	57:24	4:00	4:24	
2	120	48:45	50:00	03:01	1:15	13:10	
3	123	49:20	50:10	08:00	0:50	7:50	
4	120	49:40	55:30	02:00	5:50	6:30	
5	130	00:00	18:18	26:50	18:18	8:32	途中休止
6	120	29:10	46:26				途中休止のまま
1	125	28:30	31:00	35:37	2:30	4:35	
3	120	28:40	31:34	03:26	2:54	32:12	
7	120	28:50	59:00	10:26	30:10	11:26	
平均					12:20	11:39	
大きい値を除いて平均					3:35	8:26	

個体差がかなり大きい、大きな数値を除くと地上につけてから再登を始めるまでの静止時間は平均約4分、登速度は平均14.5cm/分であった。糸を切る実験では、幹から30cm離れた場合は4時間経過で75%の個体が再登したが、それ以外の個体は再登できなかった。また幹から80cm離れた場合には8時間経過後も再登する個体はなかった。

以上の実験は懸垂時の糸が物理的に切れることが死亡要因のキーファクターとなる可能性を示唆しているものと思われ、南西諸島におけるキオビエダシヤクの個体群動態に台風の影響が大きく関与しているものと推察される。

### 3) 登止阻止試験

#### 予備試験

##### ① 試験方法

イヌマキ樹幹にポリエチレンシート、電工用ビニールテープ、アルミフェイルをそれぞれ幅10cm程度巻き付け、セロファンテープで丁寧に止め、その樹幹下に若、中、老齢幼虫を10頭放し、これらの幼虫がシート上を登りできるかどうか観察した。また、500ccポリカップの中心をくり抜き樹幹に逆さまに取り付けたいわゆる“ねずみ返し”を設置し、同様の調査を行った。

##### ② 試験結果

結果は表-12に示すとおりであり、ポリエチレンシートでは中、老齢幼虫の登止を阻止できたが、若齢幼虫は阻止できなかった。アルミフェイルでは若、中、老齢ともに阻止できなかった。電工用ビニールテープでは若齢幼虫の登止を阻止することはできなかった。中、老齢幼虫については登止した個体もあったが、ほとんどは阻止できた。“ねずみ返し”では若、中、老齢ともに阻止できた。

表-12 登止阻止効果試験

材 料	若 齢		中・老 齢	
	供試虫数	登止数	供試虫数	登止数
ポリエチレンシート	10	8	8	0
電工用ビニールテープ	10	10	9	2
アルミ箔	10	9	8	7
ねずみ返し	10	0	10	0

## 現地試験

上記の予備試験の結果を踏まえ、石垣島において地上に落下した幼虫が歩行によって再度樹上に登るのを阻止するため、幹にビニールを巻いて滑りやすくする実験を行った。

### ① 実験方法

イヌマキを揺すって幼虫をできる限り多数落下させてから数を数え、さらに吐糸を切断した。一部の木の幹にはポリエチレンを巻いてガムテープで貼付け、他はそのままとした。翌日同様に木を揺すり、懸垂する幼虫を計数した。

### ② 実験結果

結果は表-13に示すとおりであり、ポリエチレンを巻いた木が巻かなかった木より幼虫が少なくなることはなかった。従って登上阻止効果は見られなかった。しかし、ビニールの材質と幹への装着方法の検討によって改良の余地は残されている。

表-13 落下幼虫の登上阻止現地試験

番号	A 区		B 区		C 区		ビニール被覆		ビニールなし	
	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後
1	16	4	26	12	46	23	37	15	21	9
2	57	16	25	34	25	28	12	5	9	9
3	31	5	22	14	21	15	7	5	10	5
4	25	10	23	17	13	17	9	5	11	7
5	14	3	35	26	20	1	33	8	17	8
6	4	7	16	11	26	16	16	5	21	7
7	13	3	22	21	19	14	14	12	15	4
8	16	2	25	23	14	10	7	8	5	2
9	5	2	24	18	21	15	18	9	19	2
10	19	6	6	3	11	8	11	16	18	2
11	27	1	25	9	11	3	17	9	14	1
計	227	59	249	188	227	150	181	97	160	56

### 4) バボナによる産卵回避試験

石垣市の調査地において調査木番号が等間隔になるようにイヌマキ24本にバボナを地上高約1.8 mの樹幹または枝の付け根に吊り下げ、約2ヵ月後に揺すり落としによる落下・懸垂幼虫数を調査した。また、5ヵ月後に同様の調査と調査木番号票を吊すために巻き付けた鉄線入りビニールテープと樹幹の間に産下された卵数を調査した。結果は表-14に示したとおりであった。幼虫数は平均値の差の検定結果では有意な差は認められなかったものの、むしろバボナ処理区のほうが多く、効果は認められなかった。産卵数では5%レベルで有意差が認められ ( $t_{(22)} = 1.974 < t_{(2)} = 2.089$ ) だが、幼虫数の結果と矛盾しており、その理由は明かではない。

表-14 産卵回避試験結果

処 理		92.12.22	93. 3.16	平均 卵 数		
		幼虫数	幼虫数	卵殻数	生卵数	卵 計
バボナ区	平均	1.29	0.21	1.25	2.38	3.63
	S.D	1.86	0.71	1.27	2.08	2.98
対 照 区	平均	0.73	0.07	1.64	4.33	5.97
	S.D	1.91	0.28	1.93	4.42	5.28

表-15 混交林における被害発生歴調査

氏名(調査地)	イヌマキ林の現況	造林年及び造林方法	被害歴
上里 総 栄 (65) (久米島)	現在はミカン園になっているがイヌマキは周辺林内に散見される。イタジイ・ヒメユズリハ・リュウキュウマツ・フカノキ等の広葉樹と混交	不詳。祖父の代に比較的イヌマキ密度の高い天然林内に随時樹下植栽ないし播種。昭和53年頃まで2,500坪のイヌマキ林であった。	昭和11~12年頃に発生。日清、日露戦争日華事変前後にも発生した。昭和53年の大発生時には大部分が枯死したため放棄
平 良 朝 栄 (75) (久米島)	当時のイヌマキ林は墓地周辺を除いてサトウキビ畑に変更。残ったイヌマキは梢頭部が枯れ上がり、不定芽が目につく。シバニッケイ・ヒメユズリハ・シマグワ等と混交状態。	昭和4~5年に樹下植栽によって造林。	昭和11年に被害発生。昭和27年前後にも発生したが被害は軽微であった。昭和53年の被害でほぼ全滅した。
玉 城 仁 輝 (54) (久米島) 元経済課長	林分の現況は上里氏と同じ。	不詳。祖父の代にはずでであった。自らは2~300本程度樹下植栽した。現在は殆ど残っていない。	昭和17~18年頃に発生した。その後は1978年に発生し、全滅した。
後中筋 正 夫 (64) (波照間島)	土地改良により0.1ha残存。植栽密度は10,000株以上。テリハボク・フクギ・シマグワ等と混交。平均樹高6m。	不詳。祖父の代に造林。40~50年前に補植。植えつけに先立つ5~6年前に被害対策としてテリハボクを植栽。	昭和55年に大発生。それ以前は記憶にない。
大 嵩 嘉 一 (73) (波照間島)	断層によって形成された凹地に造林、崖の真下は陽光が乏しいためか枯死した株が目につく。ガジュマル・センダン・フクギ・アコウ等の広葉樹と混交。平均高約7m。	不詳。祖父の代に造林。2~3月に樹下に発生した稚樹を植え付け。	昭和35年頃と45年頃に発生したが1年で終息した。祖父から周期的に発生すると聞いた。昭和55年の発生で枯死した株もあった。

## 5) 混交林による被害回避

混交林を造成することによってキオビエダシヤクの被害回避が図れるかどうか検討するため、イヌマキ造林が古くから行われている久米島および波照間島において、古老数名から被害歴と造成方法について聞き取り調査を行った。調査結果を要約して表-15に示した。両島においては従来、イヌマキ造林は樹下植栽によって行われてきたが、大発生が幾度か起こっている。なお、前述した奄美大島の中勝試験地はリュウキュウマツとの混交林であり、1988年に大発生した多良間島では広葉樹林に単木的に生育するイヌマキも激しい食害を被り、多数枯死した。以上のことから、混交林を造林したとしても抜本的な被害回避にはつながらないといえる。

## VI おわりに

本種の発生は年4回もあり、しかもその発生程度に時間的、空間的ズレが認められ、個体数の変動パターンが不規則でかつ急激であるという発生生態的特質から、特定地域における発生活消長を予測することは極めて困難である。このため、現行の防除は本害虫が発生した時点で薬剤防除を行うという、いわば対症療法で行われているが、すでに防除時期を失していることが多く、しかも多額の経費を要することから十分に対応しえない状況にある。また、本害虫の発生頻度が高いことは薬剤の分解速度が速いこととあいまって薬剤の連用につながりやすく、森林生物群集の攪乱を助長し、さらに環境汚染による人畜、野生鳥獣類、水性生物などへの影響も看過できないばかりか、キオビエダシヤクの薬剤抵抗性個体群を出現せしめることさえ懸念される。

イヌマキ林が経済林を目的として造成される以上、防除の目的は経済性の追求にあり、防除によってその悪影響からまぬがれた材価と防除費用との収支計算のうえで評価されるべきであろうが、立地条件や生産期間の長期性およびそれに伴う経済性ならびに薬剤防除の弊害を考慮した場合、人力の介入はおのずと制限される。しかし、山口<sup>29)</sup>が指摘するように、森林は生物群集の多様性、生態的安定の保持、形成の可能な場であり、それだけに害虫密度の自然制御に関する操作が行いやすいことも事実であり、それ故に自然力に大幅に依存する必要がある。とはいえ、南西諸島の被害林分や被害歴を見る限り、少なくともキオビエダシヤクの場合、自然力に委ねるには不安が大きすぎる。密度依存的に作用する有力な天敵が存在しないことは、発生活消長調査結果（餌の欠乏によって個体群が崩壊する）や生命表の解析結果からも明らかである。したがって、人為を加えない限り、イヌマキ林を成林させることは極めて困難であろう。

混交林造成や鳥の巣箱設置による被害回避を検討すべきとの指摘があるが、これらは抜本的な被害回避にはつながらないと推測される。しかし、極めて低い密度の時にはクモ類などの捕食性天敵が環境抵抗として働きやすいので、エスケープの抑制は期待できるかも知れない。

生態的、物理的防除法に関しては、“鼠返し”が応用できる可能性がえられたが、その前提としての幼虫の落下、吐糸の切断は難しく、音響による振動では不可能である。今後、新たな方法を検討する必要がある。また、成虫は訪花性で白系統の花によく集まるので、誘引剤などを検討する余地がある。

成虫の産卵数が1200個程度あり、産卵数も300個を数えることはキオビエダシヤクの内的自然増殖率が高いことを意味しており、適応戦略的にはr戦略者と見なせる。r選択は個体群のすみつき過程とか転々と生息場所を移動しつつ生活するような種において、個体群の増殖率を高める方向に作用する自然選択で、生物相互作用の極めて希薄な環境で有利に働くと考えられており<sup>40)</sup>、成虫

の移動分散力が大きいことは、適応戦略上、きわめて有利に働いていると考えられる。これらのことから次の仮説が成立しよう。すなわち、成虫が島から島へと移動し、その島のイヌマキ林が崩壊（生息に不適になるという質的意味も含めて）するとキオビエグシャク自体が激減するが、一部は別の島に移動する。本種は年数回の世代を繰り返すが、これによって次々に新しい移動個体が生じるので分散に成功する機会が多くなる。この裏付けとして海を渡って移動する成虫が目撃された例<sup>19)</sup>をあげることができる。本県でも慶良間近海において久米島方面から本島方面へ小集団で飛翔する成虫が確認されている。

以上のことを考え合せると、本種は侵入害虫と考えるほうが妥当であり、インドネシアに寄生蜂が存在するなど、最近の情報から、その源は中国南部～インドネシア付近である可能性が強い。

今後は、これらの天敵導入や、成虫が林縁部の花に大量に飛来して吸蜜することを利用した誘引殺虫法などの検討も必要であろう。

## 引用文献

- 1) 安里練雄：日林九支研論、33、45～46、1980
- 2) 江崎梯三：動物及び植物、1、1、1645～1652、1933
- 3) 松尾俊彦：日林九支研論、36、145～146、1983
- 4) 安松京三：森林防疫ニュース、4（2）、28～29、1955
- 5) 熊本営林局：第1、2回造林研究会記録、210～211、1937
- 6) 橋口 明：昆虫界 11（109）、146、1943
- 7) 山元玄治：新昆虫、5、1、40～41、1952
- 8) 前原 宏：新昆虫、6（2）、33、1953
- 9) 楚南仁博：台湾博物学会報 12（60）、72、1922
- 10) 江崎梯三：動物及植物 1（11）、1、1645～1652、1933
- 11) 江崎梯三：新昆虫 6（3）、14～15、1953
- 12) 宮田 彬：ちょうちょう、7、4、4～7、1984
- 13) 中根猛彦：アサヒ写真ブック No.2、61、1954
- 14) 横山淳夫：鹿児島博物学会報 1（1）、56～59、1954
- 15) 沖縄毎日新聞：1911年10月13日
- 16) 末吉幸満・我如古光男：沖縄林試研報、19、21～23、1976
- 17) 国吉清保：琉球政府林試研報、2、58～60、1954
- 18) ————：みどり、10、23～24、1962
- 19) 久米島新聞：1979年5月1日
- 20) 国吉清保：琉球林試研報、6、24～26
- 21) 八重山毎日新聞：1988年5月19日
- 22) 宮古毎日新聞：1988年6月4日
- 23) 吉田成章：九州の林業 8、1～3、1989
- 24) 伊藤嘉昭：村井夷：動物生態学研究法（上巻）42、古今書院、東京1977
- 25) 具志堅允一：沖縄林試研報、31、22～33、1988
- 26) ————：日林九支研論、43、159～160、1990



- 27) 竹谷昭彦・具志堅允一：森林防疫35 (7)、2～8、1986
- 28) 古野東州：日本林学会誌46 (2)、52～59、1964
- 29) ————：京都大学演習林報告 40、16～24、1968
- 30) 山口博昭：総合防除379～390、講談社、東京1973
- 31) 小泉清明・柴田喜久男：熱農試10、187～198、1938
- 32) 東 清二・金城政勝：ヨナグニサン保護増殖検証事業報告書、7～8、1989
- 33) 具志堅允一・吉田成章：日林九支研論、43、157～158
- 34) ————：沖縄林試研報、23、108～113
- 35) 河野達郎・杉野多万司：応動昆2 (3)、184～187、1958
- 36) 久野栄二：動物の個体群動態研究法1、45、共立出版、東京1986
- 37) 伊藤嘉昭編：アメリカシロヒトリ 94～119、中公新書、東京1972
- 38) 吉田公人：林試研報：279、1～85、1976
- 39) 日高義実：管内ニ於ケル造林試験及調査ノ概要（後編）、38～40、1932
- 40) 巖 俊一：昆虫学最近の進歩（分筆）PP588、P186～205、東京大学出版会、東京1981

# 亜熱帯広葉樹林の樹冠遮断率について

金城 勝  
寺園 隆一

## 1. はじめに

沖縄本島の水質源は河川水が主で、その大部分は北部の森林地帯から供給されている。森林流域では、降雨は河川へ直接流出するほかに、樹冠、下層植生等に一時保留され、その一部は蒸発し林地面に到達することなく大気中に返されている<sup>1)</sup>。樹冠などによる遮断作用は、蒸発作用とともに森林流域の水分損失をもたらしており、森林流域の水収支の解明においてその量的把握は不可欠である。当試験場では沖縄林業技術委託研究の一環として亜熱帯広葉樹林の林分水収支試験を実施しているが、今回その結果の一部について報告する。なお、本研究は森林総合研究所の委託を受けて実施したものである。

## 2. 測定の方法

試験地は名護市字久志福地原の沖縄県林業試験場南明治山試験地である。イタジイを主体とする天然広葉樹の二次林に20m×20mのプロットを設定した。試験地の位置を図-1に樹種構成等を表-1-1~2に示す。

測定方法は、昭和51年から62年までは代表木法で行なった。これは樹幹流下量をプロット内の代表木により測定する方法である。代表木は6本で、樹幹流下水集水装置(図-2)を地上1.2mのところに取り付け塩ビパイプによりポリ容器に接続した。林内雨量は0.2m×2mの桶型雨量計を3基設置(地上1m)してそれぞれポリ容器に接続した。林外雨量は近接する露場に自記雨量計(口径20cm)を設置し測定した。なお、樹幹流下量、林内雨量の測定は各週ごとに行ないポリ容器の水量を計測した。

平成元年からは新規に樹冠遮断量試験区を設定するとともに樹幹流下量の測定方法を全木法へ変更した。場所は概設プロットに隣接した傾斜角22度の北西向き斜面で試験地の大きさは6m×6mの投影方形区である。この試験区内の樹種構成等は表-2-1~2のとおりである。

樹幹流下量の測定は、試験区内の全樹木に樹幹流下水集水装置を取付け、塩ビパイプにより連結し1回転倒1000ccの雨量センサーに導いて測定した。林内雨量は、0.2m×2mの桶型雨量計を4基設置(地上1m)して樹幹流下量と同様な方法で測定した。これらの記録はデータロガーを使用し、10分ごとの転倒数を記録させた。林外雨量は代表木法と同様に近接する露場に自記雨量計(口径20cm)を設置し測定した。

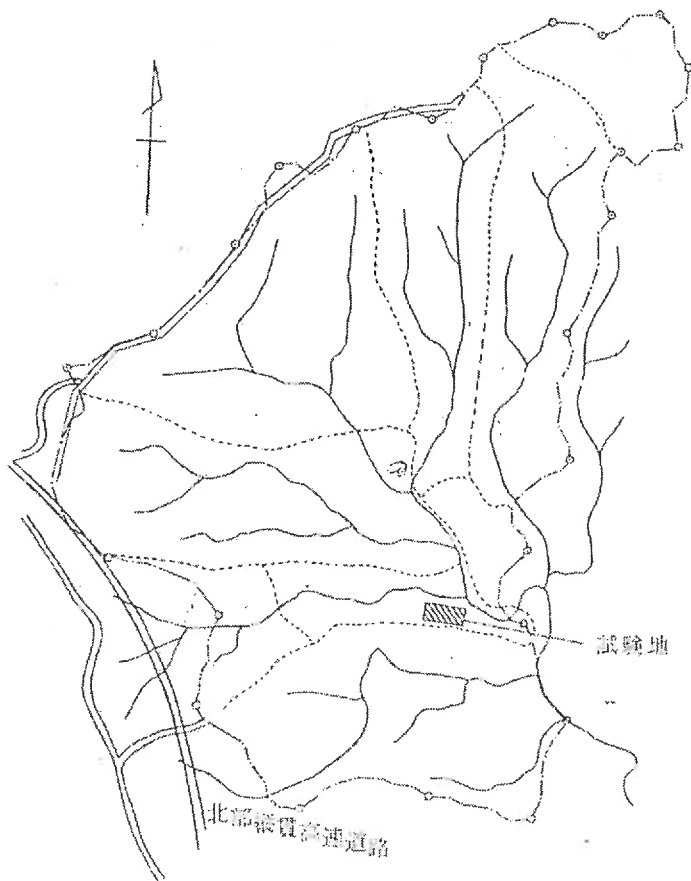


図-1 試験地位置図

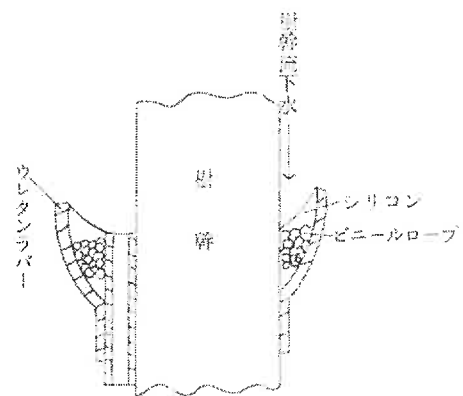


図-2

表-1-1 樹種構成 (20m×20m)

種 類	本 数	占める割合(%)	種 類	本 数	占める割合(%)
イ タ ジ イ	174	62.2	モ ッ コ ク	1	0.4
コ バ ン モ チ	25	9.0	エ ゴ ノ キ	1	0.4
タ	17	6.1	シ マ カ ナ メ モ チ	1	0.4
ナ カ ハ ラ ク ロ キ	11	3.9	ト キ ワ ガ キ	1	0.4
シャ リ ン バ イ	10	3.6	ゴ ン ズ イ	1	0.4
シ バ ニ ッ ケ イ	7	2.5	リ ュ ウ キ ュ ウ マ ツ	1	0.4
ハ ゼ ノ キ	6	2.1			
ギ	6	2.1			
イ ジ ュ	5	1.8			
モ チ ノ キ 類	4	1.4			
ヒ メ ュ ズ リ ハ	3	1.1			
ア デ ク	3	1.1			
ホ ル ト ノ キ	2	0.7			
			計	279	100.0

表-1-2 樹高・胸高直径階別本数分布 (20m×20m)

Hm \ Dcm	4	6	8	10	12	14	16	32	計	備 考
4	4								4	ha当本数 6,975本 ha当材積 163.5m <sup>3</sup>
5	20	5							25	
6	31	17	9	1	2				60	
7	20	29	19	8	1	1			78	
8	12	16	15	8	7	1			59	
9		3	8	12	9	5	1		38	
10		1	3	3	4	1			12	
11			1				1		2	
15								1	1	
計	87	71	55	32	23	8	2	1	279	

表-2-1 樹種構成 (6m×6m)

	本数	平均樹高 (m)	平均樹高直径 (cm)	占める割合 (%)
イ タ ジ イ	15	7.7	9.5	30.0
ア デ ク	9	3.6	2.4	18.0
タイミンクチバナ	9	2.2	2.0	18.0
モククチバナ	4	2.2	1.0	8.0
アカミズキ	4	3.3	1.4	8.0
コバンモチ	3	8.2	7.9	6.0
リュウキュウモチ	2	4.3	2.3	4.0
モチノキ	2	3.5	1.9	4.0
タブノキ	1	7.0	5.0	2.0
ハゼノキ	1	9.0	12.2	2.0
計	50	5.1	4.7	100.0

表-2-2 樹高・胸高直径階別本数分布 (6m×6m)

Hra \ Dcm	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	18	計
1	1														1
2	8														8
3	3	7													10
4		5	3												8
5		2	2			1									5
6				1	1										2
7				1			1								2
8							1	1	1						3
9						1	1		1	2	1	1	1		8
10							1					1		1	3
計	12	14	5	2	1	2	4	1	2	2	1	2	1	1	50

### 3. 結果及び考察

代表木法による測定は昭和51年から実施したが、機器や測定方法に起因すると考えられる不自然な値（負値）があったため、測定方法や機器の設置変更を行ない、順調に稼働した昭和57年以降の測定結果を対象とした。

全木法による測定は機器の不調による欠測があり、ほぼ通年の測定値が得られた平成5年を対象とした。樹冠遮断量は、林外雨量から林内雨量と樹幹流下量を差し引くことにより算定した。

#### 1) 林外雨量、林内雨量、樹幹流下量、樹冠遮断量の変化

昭和57年から62年までの林外雨量、林内雨量、樹幹流下量、樹冠遮断量の年総量および林外雨量に対する割合を表-3に示した。期間中の林外雨量の総量は11734.9mmである。林内雨量は5677.3mm、樹幹流下量は2828.6mm、遮断量は3299.0mmで林外雨量に対する割合はそれぞれ48.4%、24.1%、27.5%であった。これは、服部<sup>23)</sup>らがヒノキ人工林で実施した結果（林内雨量67.7%、樹幹流下量11.0%、樹冠遮断量21.3%）と比較すると林内雨量は少なく、樹幹流下量が多いのが特徴である。樹冠遮断率は我が国のおおよそ15~20%<sup>24)</sup>と比較すると大きな値となっている。

表-3 年別林分水収支

単位：mm

	林外雨量	林内雨量	割合(%)	樹幹流下量	割合(%)	遮断量	遮断率(%)
昭和57年	2,236.5	1,102.0	49.3	623.5	27.9	511.0	22.8
58年	2,256.0	1,147.6	50.9	770.0	34.1	338.4	15.0
59年	1,810.0	976.3	53.9	481.3	26.6	352.4	19.5
60年	2,329.5	919.3	39.5	412.7	17.7	997.5	42.8
61年	1,853.9	889.2	48.0	298.4	16.1	666.3	35.9
62年	1,249.0	642.9	51.5	242.7	19.4	363.4	29.1
計	11,734.9	5,677.3	48.4	2,828.6	24.1	3,229.0	27.5

注) 昭和62年は、6月から12月までの測定値

表-4に月別の林内雨量、樹幹流下量、樹冠遮断量を示す。樹冠遮断量の最大値は8月の115.5mmで林外雨量も320.4mmと最大である。これに対し最小値は10月の17.1mmで林外雨量も少なく81.4mmである。樹冠遮断量は2月と8月が多く、樹冠遮断率もそれぞれ55.1%、36.0%と高くなっている。これは2月の林内雨量と8月の樹幹流下量の割合が少ないことが影響しており、この時期は樹木の成長が休止することや気温が極値になることが原因として考えられる。服部<sup>23)</sup>は、林内雨量率、樹幹流下率は降雨量が多い樹木の生育期に大きく、降雨量の少ない休止期に小さい傾向がうかがえ、樹冠遮断率はその逆で生育期より休止期の方が大きくなるとしている。

表-4 樹冠遮断量、樹冠遮断率の月変化（昭和57～62年平均）

単位：mm

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
林外雨量	107.9	186.1	208.9	205.8	208.7	277.1	82.9	320.4	155.0	84.4	146.8	124.8
林内雨量	39.9	70.8	101.0	111.7	115.2	144.0	45.0	145.3	77.0	42.2	70.0	56.8
割合（%）	37.0	38.0	48.3	54.3	55.2	52.0	54.3	45.3	49.7	50.0	47.7	45.5
樹幹流下量	37.3	50.0	59.8	49.9	47.5	66.3	20.1	59.6	35.9	25.1	29.4	31.4
割合（%）	31.6	26.9	28.6	24.2	22.8	23.9	24.2	18.6	23.2	29.7	20.0	25.2
樹冠遮断量	30.7	65.3	48.1	44.2	46.0	66.8	17.8	115.5	42.1	17.1	47.4	36.6
割合（%）	28.5	35.1	23.0	21.5	22.0	24.1	21.5	36.0	27.2	20.3	32.3	29.3

図-3に樹冠遮断量と落葉・落枝量を示す。落葉・落枝量は、新垣が南明治山で昭和58年から62年まで調査した平均値である。年平均量は36.5g/mである。落葉・落枝量が多いのは、3月と8月であるが3月は昆虫の食害による影響であり、8月は台風によるものである。樹冠遮断率は3月には低い値を示したが8月には高い値を示しており不規則である。また、その他の月でも同様に落葉・落枝量が樹冠遮断率へ与える影響は明確にはならなかった。

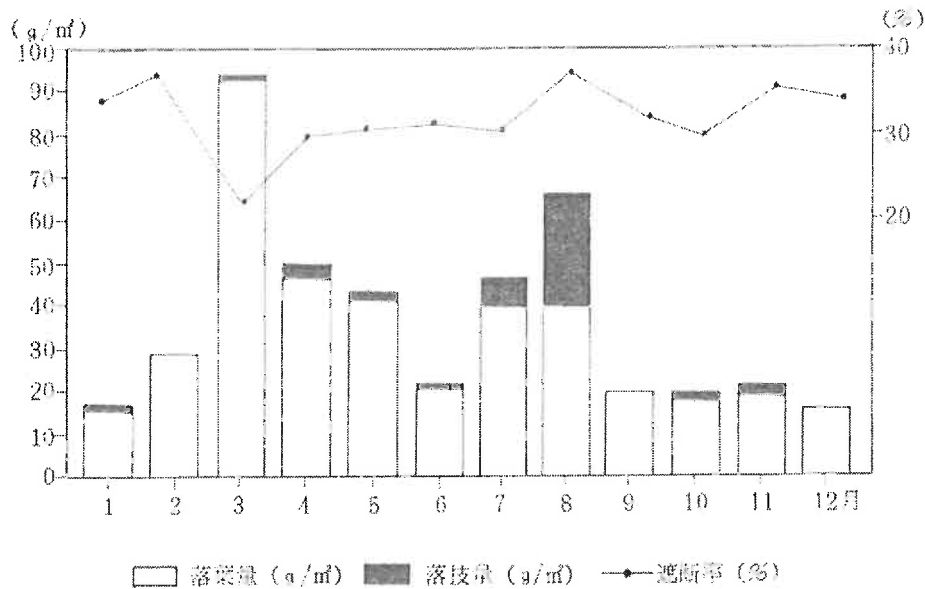


図-3 樹冠遮断率と落葉・落枝量

## 2) 林外雨量と林内雨量、樹幹流下量、樹冠遮断量の関係

林内での雨水の動態を把握するため、一降雨ごとの検討を行なってみた。この場合一降雨は降雨で濡れた樹冠や幹が完全に乾くまでをいい、樹体に付着した水分量と蒸発強度から推定されるが明確ではないため、便宜的に林外雨の降り始めの記録から林内雨や樹幹流の記録が終了するまでとした。

表一五に平成5年の月別の林内雨量、樹幹流下量、樹冠遮断量を示す。期間中の林外雨量は1713.5mm（値の一部は近接する雨量計で補完）、林内雨量は918.8mm、樹幹流下量は318.9mm、樹冠遮断量は475.8mmである。林外雨量に対する割合はそれぞれ53.6%、18.6%、27.8%である。昭和57年から63年までの平均値と比較すると林内雨量率、樹幹流下率は小さいが樹冠遮断率は近似した値となっている。

表一五 樹冠遮断量、樹冠遮断率の月変化

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計
林外雨	190.5	72.5	90.0	110.0	246.5	196.5	243.0	161.0	160.5	117.5	64.0	61.5	1,713.5
林内雨	96.3	36.3	43.8	65.0	151.3	123.1	145.0	74.4	61.9	57.5	31.3	33.1	918.8
樹幹流	37.8	12.9	11.7	10.1	45.6	30.0	40.8	41.8	39.8	27.0	12.2	9.3	318.9
遮断量	56.4	23.3	34.6	34.9	49.6	43.4	57.2	44.9	58.9	33.0	20.6	19.1	475.8
林内率	50.5	50.0	48.6	59.1	61.4	62.7	59.7	46.2	38.6	48.9	48.8	53.9	53.6
樹幹率	19.9	17.8	13.0	9.2	18.5	15.3	16.8	25.9	24.8	23.0	19.0	15.1	18.6
遮断率	29.6	32.2	38.4	31.7	20.1	22.1	23.5	27.9	36.7	28.1	32.1	31.0	27.8

率は林外雨に対する割合（%）

図一四～六は林外雨量を横軸、林内雨量、樹幹流下量、樹冠遮断量を縦軸にとり表示したものである。林外雨量と林内雨量、樹幹流下量、樹冠遮断量は直線の関係を示し、回帰式を求めた結果、次のような関係式が得られた。なお、 $P = P_t + P_s + P_i$  の関係が成り立つ。

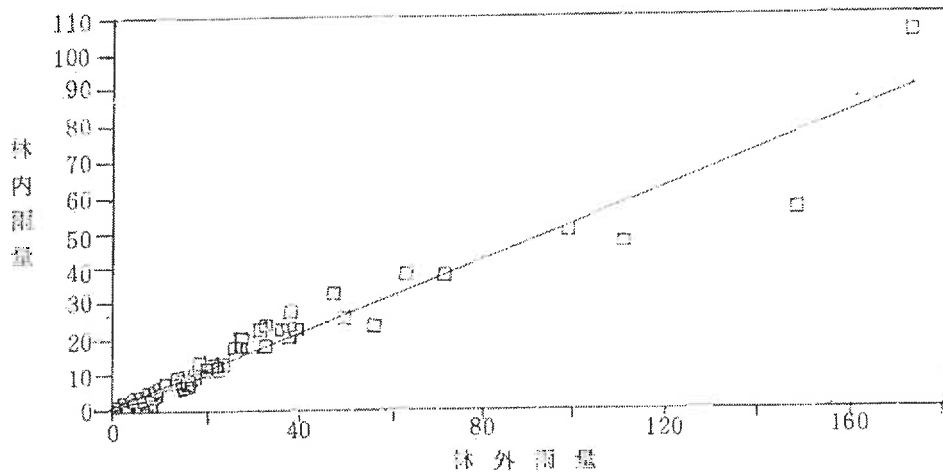
$$P_t = 0.5136P + 0.3416 \quad (r=0.95) \quad (1)$$

$$P_s = 0.2371P - 0.7730 \quad (r=0.95) \quad (2)$$

$$P_i = 0.2491P + 0.4319 \quad (r=0.91) \quad (3)$$

$P$  = 林外雨量     $P_t$  = 林内雨量     $P_s$  = 樹幹流下量     $P_i$  = 樹冠遮断量     $r$  = 相関係数

これらは高い相関関係があり、林外雨量から林内雨量、樹幹流下量、樹冠遮断量を推定することが一応可能である。



図一四 林内雨量と林外雨量

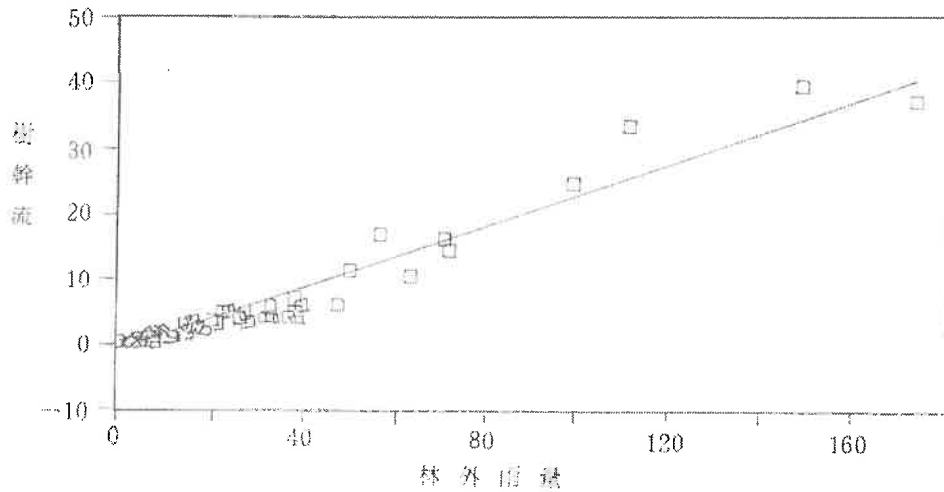


図-5 樹冠流と林外雨量

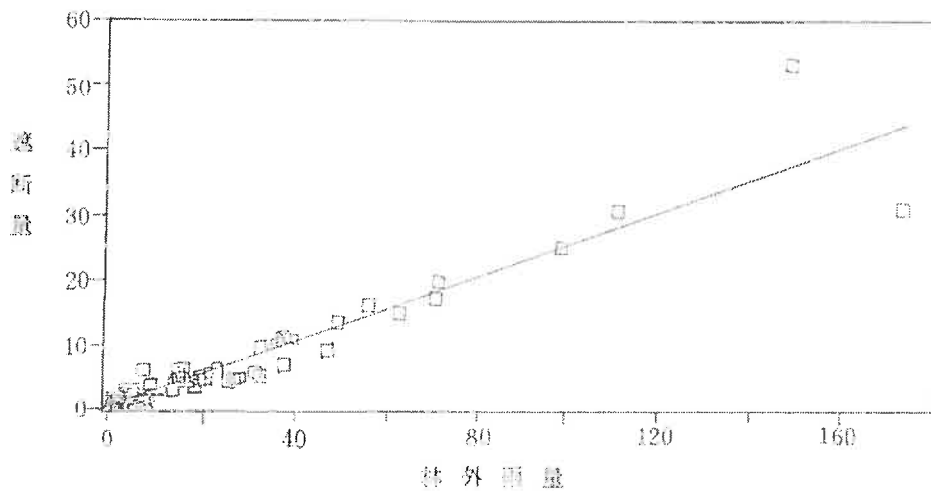


図-6 遮断量と林外雨量

### 3) 一降雨量と樹冠遮断率の関係

表-6は降雨階級別の林内雨量、樹幹流下量、樹冠遮断量と割合を示したものである。林内雨量、樹幹流下量、樹冠遮断量とも降雨階級が上がると増加している。林内雨率、樹幹流下率は降雨階級とともに増加するが、樹冠遮断率は減少していく。これから降雨階級により樹冠遮断率は変化し、降雨階級の回数が樹冠遮断率に影響を与えるようである。図-7に樹冠遮断率と降雨の関係を示す。図中の実線は(3)式の両辺を降雨量で除して求めたものである。樹冠遮断率は降雨量の増加とともに減少し20mmを越えると一定値に近づくことがわかる。これは降雨量が10mm以下の場合、その大部分が樹体に付着し樹冠遮断率が大きくなり、20mmを越えると急減するためである。また、降雨量10mm以下で樹冠遮断量のバラツキが多い。このことから、雨量強度等の気象条件や樹冠の付着水量の変化を受けやすいことが考えられる。



表-6 降雨階級別の樹冠遮断量と遮断率

降雨階級	降雨数	平均降雨	林内雨	樹幹流	遮断量	林内雨率	樹幹流率	遮断率
0~5	66	1.9	0.8	0.1	1.0	42.5	4.7	52.8
5~10	10	7.4	4.0	1.0	2.4	54.4	13.2	32.3
10~15	7	13.4	7.5	1.9	4.0	56.1	14.1	29.8
15~20	6	17.0	9.4	2.8	4.9	55.1	16.3	28.6
20~25	3	22.0	12.5	4.1	5.4	56.8	18.6	24.6
25~30	3	26.7	18.1	4.0	4.5	68.0	15.1	16.9
30~40	8	35.6	22.0	4.9	8.7	61.7	13.9	24.4
40~50	2	48.3	28.4	8.6	11.2	58.9	17.8	23.3
50~60	1	56.0	23.1	16.9	16.0	41.3	30.1	28.6
60~70	1	62.5	37.5	10.3	14.7	60.0	16.5	23.5
70~80	2	70.8	37.2	15.3	18.2	52.6	21.7	25.8
80~90	0	--	--	--	--	--	--	--
90~100	1	99.0	49.4	24.6	25.0	49.9	24.8	25.3
100~180	3	141.0	69.2	36.7	38.2	48.0	25.5	26.5

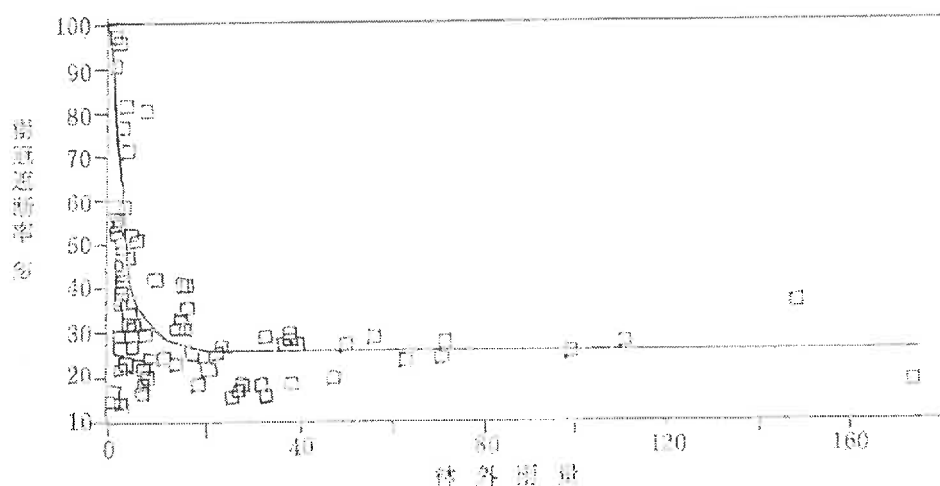


図-7 樹冠遮断率と降雨

### おわりに

本県の南明治山で実施した亜熱帯広葉樹林の樹冠遮断率の平均は約28%であり、我が国の15~20%と比較すると高いことがわかった。これは、樹種や雨量強度、降雨の回数によって変化するものであり、樹種の構成によっても変化することが考えられる。

今後の課題として気象条件や林齢、立地条件等を考慮した試験を実施することが必要であり、樹冠遮断量を定量的に把握するためにはデータの蓄積が望まれる。

### 引用文献

- 1) 中野秀章：森林水文学 水文学講座13 共立出版
- 2) 服部重昭、近嵐弘榮、竹内信治：1962 林試研報 No318
- 3) 新垣 隆：62年林業試験場報告 No30

# 複層林造成技術

—光環境測定技術について—

育林保全室 寺 園 隆 一  
生 沢 均

## 1. はじめに

沖縄県の森林は、戦後の住民生活の復興に重要な役割を果たしてきたが、過伐により森林は荒廃した<sup>1)</sup>。このため荒廃した森林は、既に林業の振興ないしは、造林の活発な推進には困難な状態にあった<sup>2)</sup>。しかし、復帰を契機とし、国の高率補助により、森林を復旧することを目的として造林事業が推進された<sup>3)</sup>。

一方、近年森林は、温暖化、オゾン層の破壊、酸性雨、野生生物種の減少等の地球環境問題と深く関わっていることから、森林のもつ公益的機能の発揮を維持増進することが重要となっている<sup>4)</sup>。

このような、森林をとりまく情勢の変化と、林業経常的な視点から複層林施業は我国において昭和40年代から積極的に研究推進されてきた。

水土保持機能、風致保全機能等の公益的機能と、地力維持、気象害の回避等の利点を持つ複層林施業<sup>5)</sup>は、施業初期の段階（上層木の収穫）で、下層木の成長促進のための受光伐程度の技術確立が重要となっている<sup>6)</sup>。

この適正な受光伐程度の指標としての光環境の推定には、従来相対照度を用いていたが<sup>7)</sup>、簡便で安定度の高い測定技術として全天空写真や、ジアゾ感光紙を用いた技術、現場作業上の簡便さから樹冠写真<sup>8)</sup>を用いた技術が検討されている。

そこで、樹冠写真を用いた林分の光環境の推定技術確立のため、今回林種の異なる複層林施業地において樹冠写真を用いた光環境の推定技術の検討と、林分因子と光環境の検討を行ったので報告する。

## 2. 調査方法

### 1) 相対照度と開空率の関係調査

調査は、本島北部（国頭村3）と宮古島（平良市2、城辺町1）及び石垣島（石垣市4）において、比較的、造成年度の新しい（平成3～4年度）箇所で行った。調査方法は、各林分に10m×10mの方形区を設定し、上層木の胸高直径と樹高及び立木位置と、下層木の樹高について測定した。光環境については、林内・林外照度と樹冠開空率の測定を行った。照度はTopcon光電池照度計（SPI-17形）を用いて、プロット内9地点5回繰り返して行い、開空率は28mm広角レンズを用いて樹冠写真を撮影し、画像解析（ピクスIA-500）によって算出した。

### 2) 使用レンズと画角の関係調査

樹冠写真の撮影は南明治山試験林内の除・間伐試験地で実施した。撮影に用いたレンズは、Fisheye8mmF2.8、17mmF3.5、24mmF2.8、28mmF2.8、50mmF2.5、35～70mmF2.8、35～105mmF3.5～4.5

である。撮影はプロット（20m×20m）の中央部において地上1mに35mmカメラを水平に設置し行い、開空率の計測は、樹冠写真から画像解析によって算出した。

### 3. 結果および考察

#### 1) 相対照度と開空率の関係

調査地の事業概要を表-1に、調査結果を表-2に示す。

各プロットの平均直径は5.8~16.4cm、平均樹高は4.2~14.0m、立木本数1,100~2,300本/ha、断面積合計9.9~50.6m<sup>2</sup>/ha、材積32.2~351.8m<sup>3</sup>/haで比較的分散幅が広く、さまざまな大きさの林分で複層林整備が進められていることが推察される。

表-1 複層林調査地概要

造林年度	地区名	事業面積	上層木樹種	下層木樹種	植栽本数/ha	備考
平成4年	国頭村辺土名内間	4.8 ha	リュウキュウマツ	イジュ	1,900	普通苗
平成4年	国頭村辺土名内間	2.68ha	リュウキュウマツ	イヌマキ	3,500	普通苗
平成4年	国頭村辺土名内間	3.27ha	リュウキュウマツ	イヌマキ	1,900	普通苗
平成3年	石垣市崎枝屋良部	1.2 ha	ソノタ広葉樹	イスノキ	1,800	
平成4年	石垣市崎枝屋良部	2.0 ha	ソノタ広葉樹	イスノキ	1,800	
平成4年	石垣市浮海大田	20.0 ha	ソノタ広葉樹	イスノキ	1,800	
昭和63年	石垣市平得大俣原	4.56ha	リュウキュウマツ	イスノキ	1,590	
平成3年	平良市東仲宗根西底原	3.14ha	リュウキュウマツ	フクギ	2,100	
平成4年	平良市東仲宗根東底原	4.13ha	リュウキュウマツ	フクギ	2,100	ポット苗20
平成3年	城辺町福里北川久道	0.72ha	リュウキュウマツ	デゴハボク、フクギ	1,900	

表-2 複層林調査結果

PLOT No	上層木					樹下植栽木		相対照度		開空率
	本数	平均直径	平均樹高	断面積	材積	本数	樹高	平均	(中心)	(中心)
	本/ha	cm	m	m <sup>2</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha	本/ha	cm	%	%	%
国頭1	1,800	14.5	10.4	39.8	256.4			14.2	12.0	29.5
国頭2	3,200	5.8	4.3	9.9	32.2	1,300	35.0	73.6	68.3	82.0
国頭3	3,300	7.1	4.2	14.2	45.5	1,500	67.4	24.6	22.8	
石垣1	2,100	12.3	7.6	30.9	161.9	1,800	62.4	34.4	38.8	50.4
石垣2	1,400	8.9	4.8	12.0	44.5	1,100	52.7	73.6	64.7	80.7
石垣3	1,100	14.9	8.2	20.8	107.8	1,900	61.8	15.3	14.7	26.2
石垣4	1,900	16.4	14.0	43.6	309.8	1,100	135.5	9.3	6.5	24.4
宮古1	1,200	14.8	8.0	21.7	104.8	1,800	24.0	61.4	56.1	43.8
宮古2	1,900	14.8	8.9	34.7	178.9	2,300	23.0	29.7	24.5	24.1
宮古3	3,200	10.4	7.7	50.6	351.8			18.2	22.6	33.0

林内の光環境の指標の一つとしては、相対照度（林内照度／林外照度）が用いられるが、天候に左右されやすく安定的な値を得ることが困難であることが知られている<sup>1)</sup>。一方、樹冠写真による開空率は簡便さと記録性並びに安定性の面から有利であることが知られているが<sup>2)</sup>、過去広葉樹林において実施されただけで、林種の異なる場合の測定値の検討はなされていない。

そこで、今回リュウキュウマツが上層木となっている林分で相対照度と開空率の関係について検討した。(図-1)

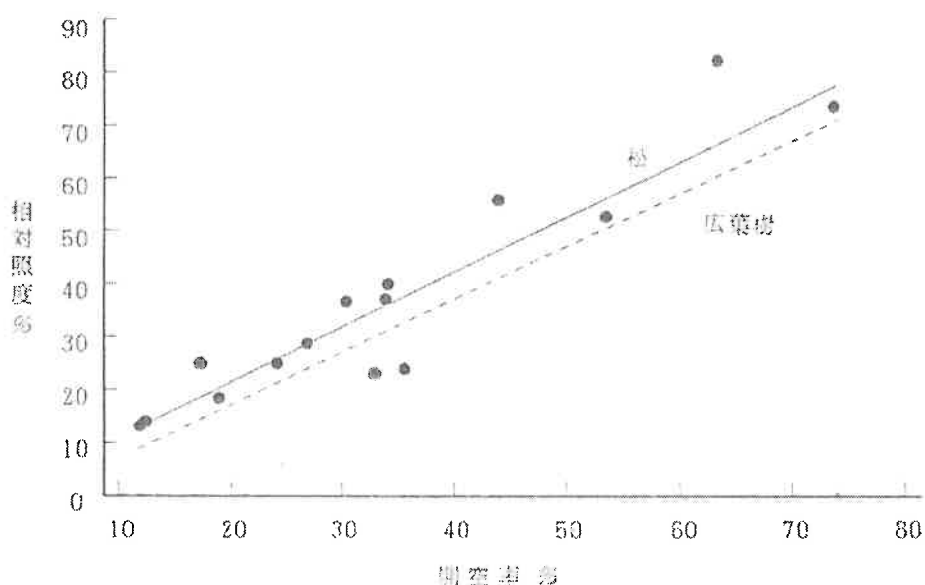


図-1 開空率と相対照度の関係

リュウキュウマツ林での相対照度と開空率の間には

$$Y = 0.909 + 1.0318X \quad (r = 0.96)$$

の関係が認められた。

ここで、林種の異なる上層木が広葉樹である林分の調査結果<sup>3)</sup>と比較すると、両者の回帰式はほぼ平行となる。そこで、t検定（2つの回帰式の併合の検定）により、この2つの回帰式間に差があるかどうかを検討したところ、有意差は認められず、2つの回帰式は完全に併合してよいことになった。その結果併合した回帰式は

$$Y = -0.1073 + 0.993X \quad (r = 0.92)$$

となった。

これらのことから、開空率は樹種の影響を受けず、また、回帰式の勾配がほぼ1に等しいことから、光環境の指標としてそのまま利用が可能であると考えられた。

## 2) 開空率と必要サンプル数

林分の平均開空率の推定に必要なサンプル数を検討するため、調査プロット内において、位置を変えて樹冠写真を撮影し開空率を測定した。測定された開空率にはバラツキが生じており、各プロットでの開空率の標準偏差は2.99～19.78を示し、プロットによって大きく異なっていた。そのため、バラツキの要因を知るために開空率の標準偏差と林分因子の関係について検討した。(図-2, 3)

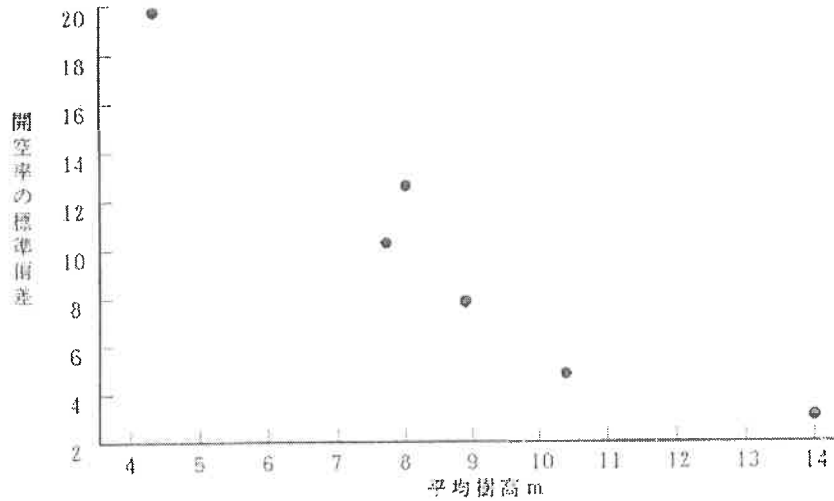


図-2 開空率の標準偏差と平均樹高の関係

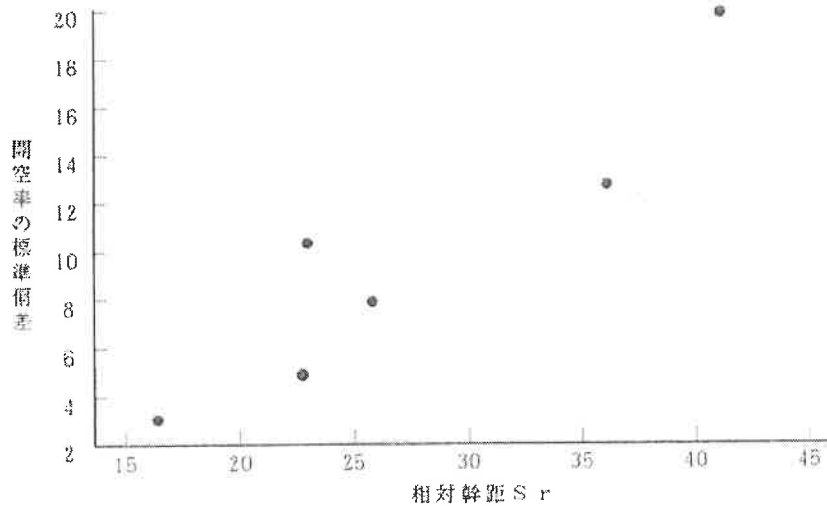


図-3 開空率の標準偏差と相対幹距の関係

その結果、開空率の標準偏差は樹高と林分密度、特にha当たり本数と樹高を組み合わせた林分密度である相対幹距 ( $Sr=100^2/H\sqrt{N}$ ) との間に関係がみられ、林分の樹高が低く、かつ林分密度が粗になるほど開空率のバラツキ (標準偏差) は大きくなる傾向が認められた。このことは、樹冠写真上に撮される立木の個数が減少していると考えられるため、カメラのレンズの画角と撮影面積の関係についても検討を行ってみた。(表-3、図-4、5)

表-3 レンズの画角と撮影範囲

焦点距離	画 角			撮影面積 (㎡)					面積比率 (50mm=1)
	水平	垂直	対角線	距離 8m	10m	12m	14m	16m	
Fisheye 8mm	-	-	180°						
17mm	93°	70°	104°	188.8	295.1	424.9	578.3	755.3	8.46
24mm	74°	53°	84°	96.2	150.3	216.4	294.5	384.7	4.31
28mm	65°	46°	75°	69.2	108.2	155.8	212.0	276.9	3.10
35mm	54°	38°	63°	44.9	70.2	101.1	137.5	179.6	2.01
50mm	40°	27°	46°	22.3	34.9	50.3	68.4	89.3	1.00
70mm	29°	19° 30'	34°	11.4	17.8	25.6	34.8	45.5	0.51
105mm	19° 20'	13°	23° 30'	5.0	7.8	11.2	15.2	19.9	0.22

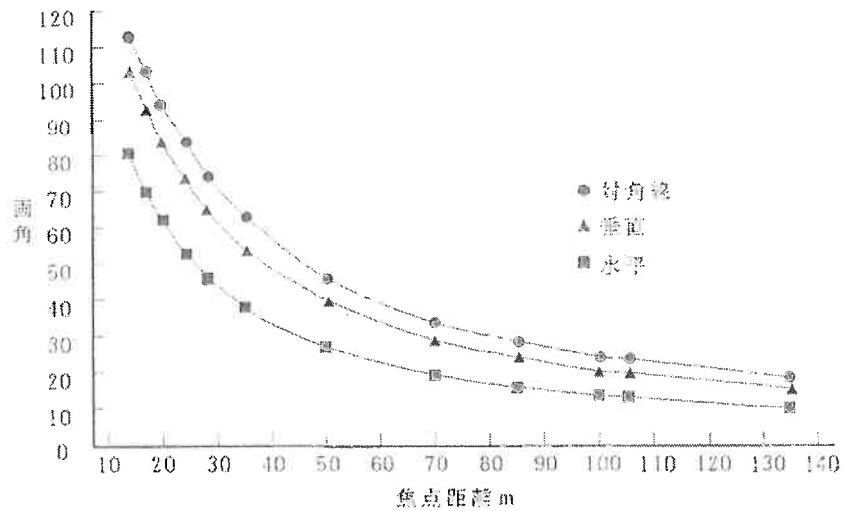


図-4 焦点距離と画角の関係

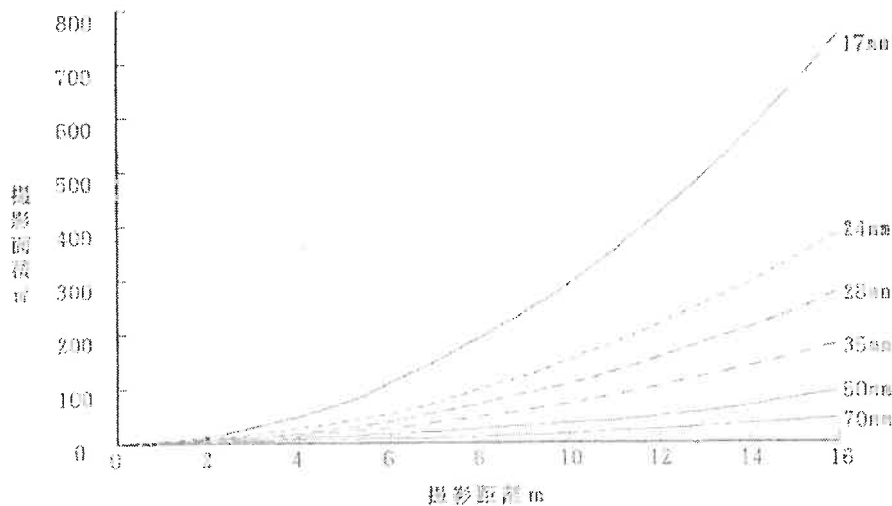


図-5 撮影距離と面積の関係

レンズの画角はその焦点距離によって決まっており、35mm一眼レフカメラの場合、28mm広角レンズの画角は対角線75°、水平65°、垂直46°であり、焦点距離が小さくなるほど画角は大きくなり、広い範囲が撮影される。(写真1～8) また、同一レンズでは撮影対象物までの距離が大きくなるほど撮影面積は大きくなり、対象物までの距離が2倍になれば、面積は4倍になる。ここで、撮影距離を樹高と考えると28mm広角レンズでは距離10mでは12.7m×8.5mの範囲が撮影されるのに対し、5mでは6.4m×4.2mと1/4の面積になる。このことから林分の樹高が低くなると撮影面積が小さくなり、林分密度が粗になるほど開空率がバラツキ要因になっていることがわかる。そのため、このような林分での開空率の推定精度を高めるためには、サンプル箇所数を増やすことと、画角を大きくすること、すなわち、より小さい焦点距離の広角レンズを用いる必要がある。

今回の各調査プロットでの必要サンプル数を開空率の変動係数からもとめると、95%信頼区間で目標精度10%では4～89個、目標精度20%では1～22個となった。

なお、画角の大きい焦点距離24mm以下の超広角レンズでは歪曲収差によるデフォーメ効果が大きくなり、写真の中央部の被写体の面積に比べ、周辺部の被写体の面積が大きくなる傾向が認められる。このことは光環境に影響を与えると考えられる写真中央の開空状況よりも周辺部の開空状況の方がウェイトが大きくなることを意味しており、今後検討していく必要がある。

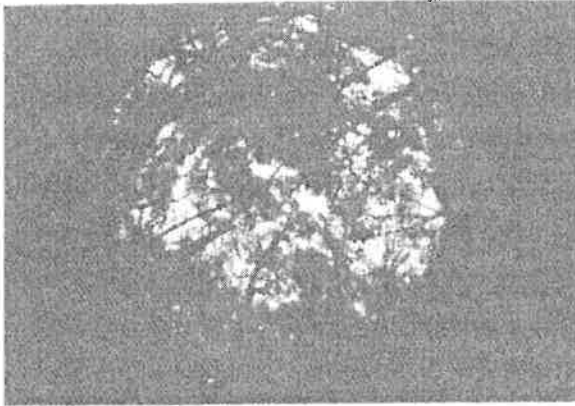


写真1 Fisheye8mm (絞りF11・1/125秒) 開空率6.0%

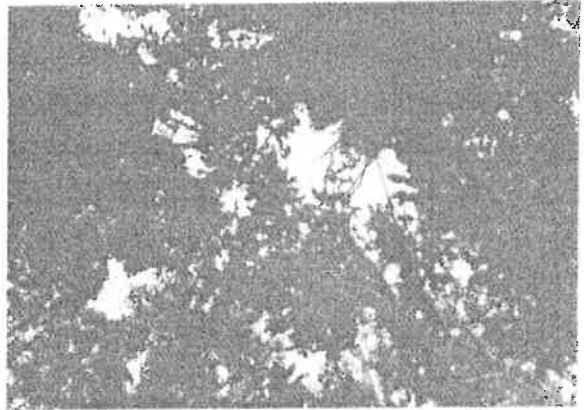


写真5 35mm (絞りF11・1/125秒) 開空率7.9%

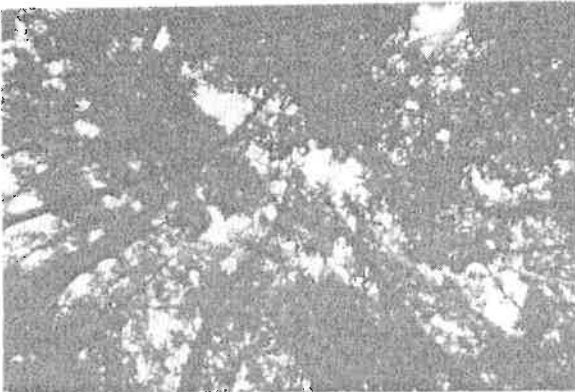


写真2 17mm (絞りF11・1/125秒) 開空率10.7%

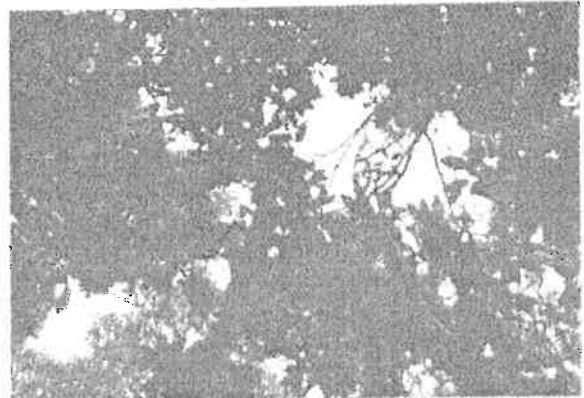


写真6 50mm (絞りF11・1/125秒) 開空率10.4%

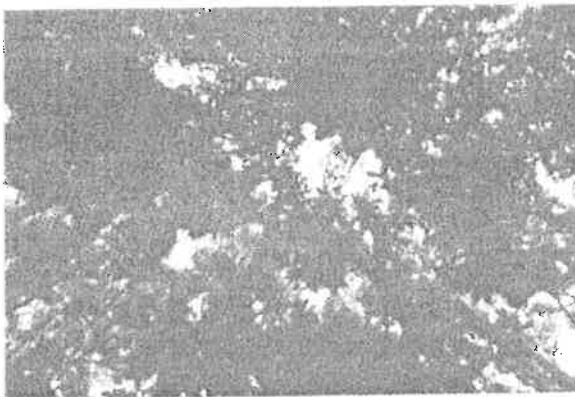


写真3 24mm (絞りF11・1/125秒) 開空率9.1%

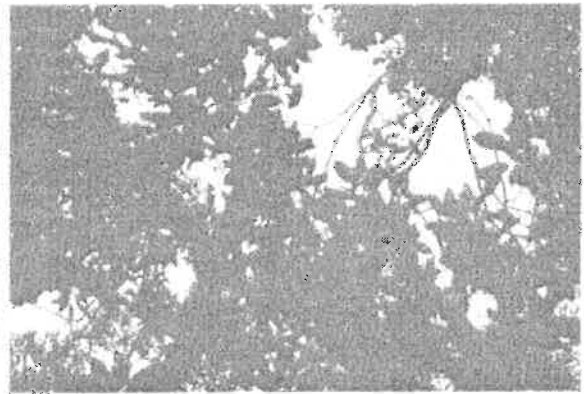


写真7 70mm (絞りF11・1/125秒) 開空率12.8%

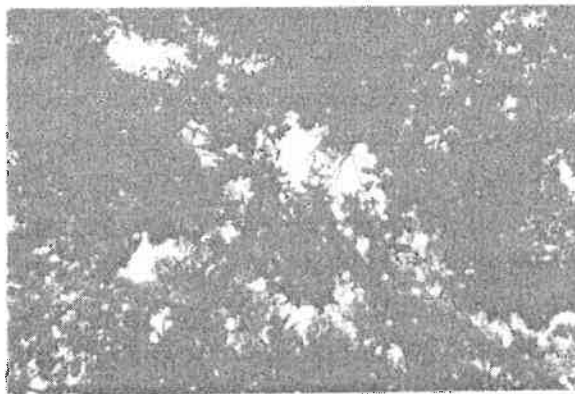


写真4 28mm (絞りF11・1/125秒) 開空率9.3%

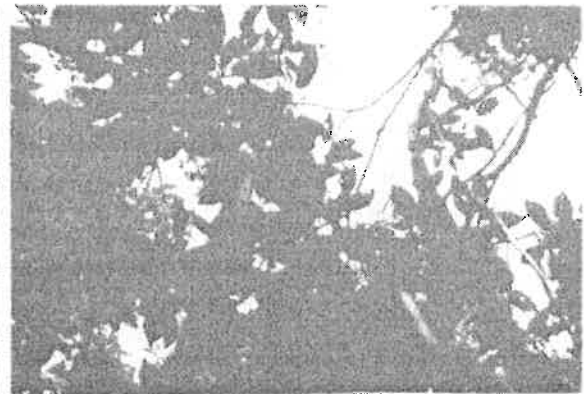


写真8 105mm (絞りF11・1/125秒) 開空率21.8%

### 3) 開空率と林分因子

複層林事業を進めるうえで、開空率や相対照度などの光環境を、林分因子等から間接的に推定することができれば、現場において受光伐の程度を容易に把握することができ、きめ細かい施業が可能となる。光環境を間接的に推定するために、林分因子と開空率の関係について調べてみた。

ha当たり立木本数及び平均直径と開空率との間にはバラツキが大きく関係は認められない。樹高については、最大樹高と開空率の間に図-6に示すように、最大樹高が小さくなれば開空率が大きくなる傾向がみられた。ha当たり断面積及び材積と開空率の関係を示すと図-7及び図-8のようにほぼ直線的な関係がみられ、断面積及び材積からおおよそ、その開空率を推定することが可能と考えられた。これらは林分の密度を表しており、他の林分密度を表す指標についても検討してみると相対幹距 ( $Sr=100^2/H\sqrt{N}$ ) 及び相対幹距数 ( $Ra=100/D\sqrt{N}$ ) と開空率の関係は図-9及び図-10のようになり、開空率は林分密度と関係があることがわかった。

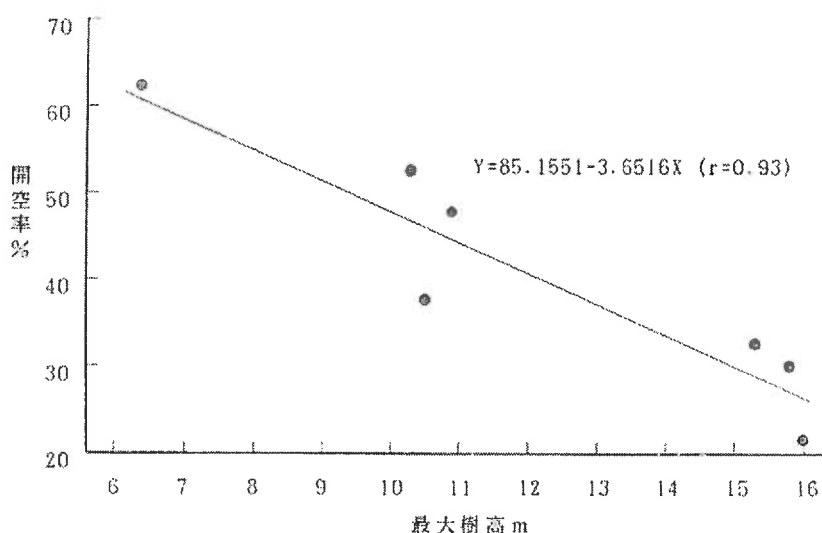


図-6 開空率と最大樹高の関係

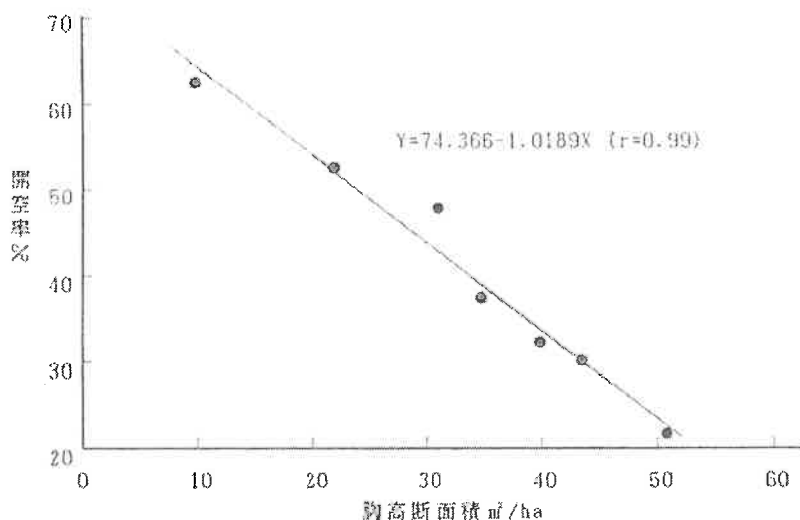


図-7 開空率と断面積の関係



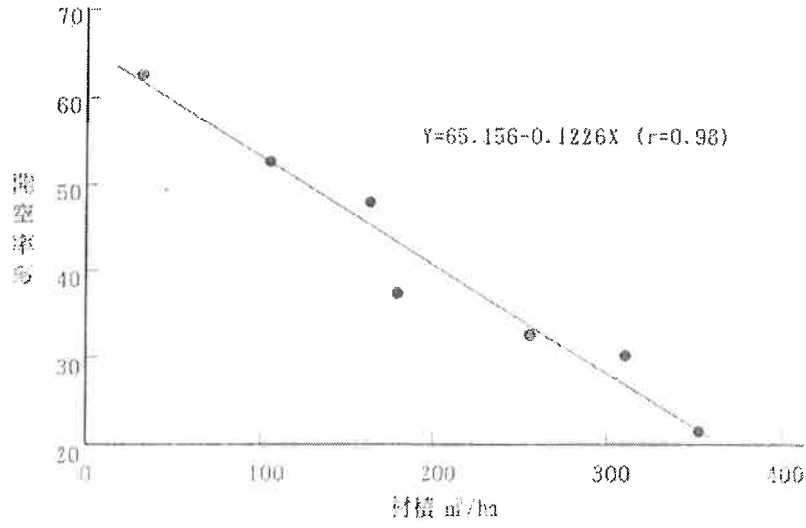


図-8 開空率と材積の関係

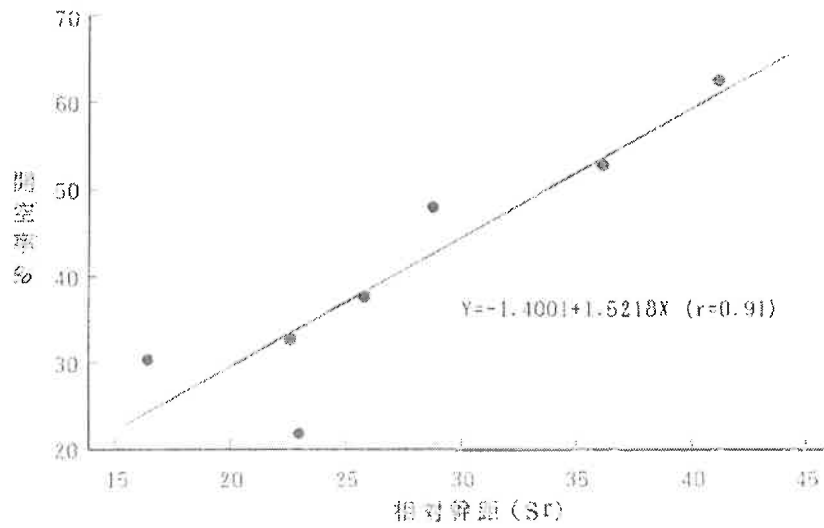


図-9 開空率と相對幹距 ( $Sr$ ) の関係

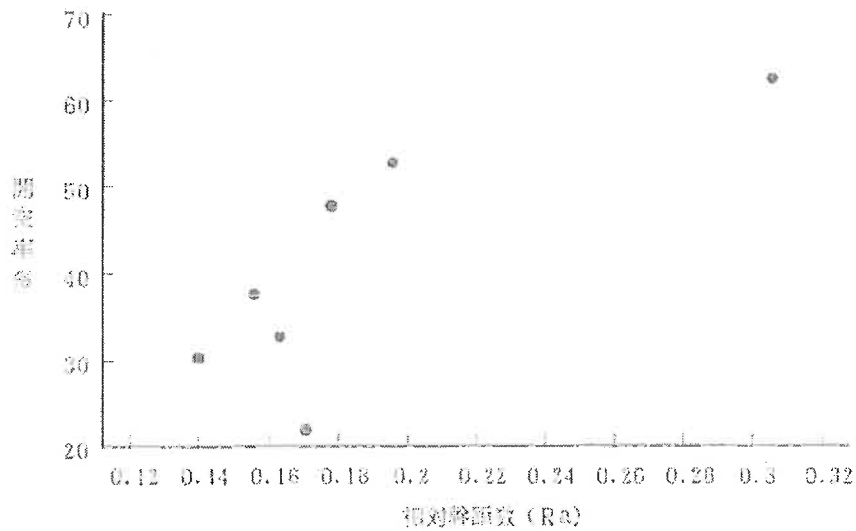


図-10 開空率と相對幹距數 ( $Ra$ ) の関係

#### 4. おわりに

林分の光環境の推定技術確立のため、今回、林種の異なる複層林施業地において樹冠写真を用いた光環境の推定技術の検討と、林分因子と光環境の関係について検討を行った。

相対照度と開空率の関係はほぼ直線となり、樹種の影響も受けないため光環境の指標として利用可能である事が明かとなった。また、林分の平均開空率を求める際には樹高が低く、密度が粗である林分では開空率にバラツキが生じ、そのため、サンプル数を増やしたり、画角の大きいレンズを使用する必要があることがわかった。開空率はha当たり断面積及び材積と密接な関係があり、林分密度の因子をもちいて、光環境を間接的に推定することが可能であることがわかった。

#### 引用文献

- 1) 琉球林業協会：沖縄の林業史、125、S47
- 2) 林野庁：沖縄造林事業推進基礎調査報告書、80、S48
- 3) 琉球林業協会：亜熱帯地域の沖縄林業の歩み、128、S59
- 4) 大蔵省印刷局：林業白書（平成5年度版）、1983
- 5) 安藤貴：複層林施業の要点' わかりやすい林業研究解説シリーズ' 79、80、S60
- 6) 複層林施業研究班：林試研報323、1～218、1983
- 7) 生沢均・寺園隆一：日林論102、567～568、1991
- 8) 生沢均・寺園隆一・安里練雄：日林九支研論29、101～102、1986