

論文

沖縄島北部におけるイジュ人工林の除間伐基準の検討^{*1}小多祥基^{*2}・高嶋敦史^{*3}・芝 正己^{*4}

小多祥基・高嶋敦史・芝 正己：沖縄島北部におけるイジュ人工林の除間伐基準の検討 九州森林研究 69：27－33，2016 沖縄島北部では、1980年代以降の主要造林樹種としてイジュが挙げられるが、イジュ人工林に関する研究は少なく、密度管理の基準が不十分な状況である。そこで本研究では、6、7 齢級のイジュ人工林を対象に、施業履歴や立地条件が異なる3つの林分を調査し、調査区別にみたイジュと侵入種の生育状況について明らかにした。さらに、イジュの胸高直径と樹冠幅、樹冠表面積との有意性を確認し、樹冠を基にした除間伐基準の検討を行った。その結果、除間伐を行った区でイジュの胸高直径が他区より大きく、除間伐によりイジュの生育が改善されたことが示唆された。しかし、侵入種も生育が促されており、今後は直径が大きくなり、経済価値のある侵入種も保残するような除間伐が現実的であると考えられた。また、測定が比較的簡易な樹冠幅を指標に除間伐基準を検討すると、7 齢級における相対幹距は20%程度が目安になり得ると予測された。

In northern Okinawa, Iju (*Schima wallichii*) have been the main plantation species since the 1980s. However, there are only a few studies on Iju plantations, and standards of stand density have not been established. In this study, we surveyed three Iju plantations in the 6 to 7 age class. The plantations were at various locations and had partially different cleaning and thinning histories. Tree size of Iju and other colonized species were recorded at each plot. The correlations between diameter and crown width and between diameter and crown surface area were investigated. Then, standard for cleaning and thinning were evaluated. Our results showed that diameter of cleaning and thinning plot is bigger than other plots, and planted Iju growth improved following cleaning and thinning. But the growth of other colonized species also improved, leaving valuable colonized species which have large and straight stems will be appropriated. Standards for cleaning and thinning of Iju plantations may be evaluated by measuring crown width, which can be easily accomplished. Finally, our estimation suggests that the suitable relative spacing in Iju plantations is about 20% in the 7 age class.

キーワード：イジュ，広葉樹人工林，除間伐，密度管理，沖縄

I. はじめに

沖縄島北部では、1980年代以降イジュ、イスノキ、クスノキ等の広葉樹を中心とした造林が行われている（沖縄県農林水産部森林管理課，2015）。中でもイジュは、比較的通直な材が得られ、集成材やフローリング用材としての利用が期待できる（藤田・遠矢，1988）とされている。しかし、沖縄島北部のイジュ人工林に関しては、体系的な施業法が十分に確立しておらず、除間伐が適切に行われている林分は少ない（安里ほか，2003）。これまでの研究としては、安里ほか（2003）が3 齢級時に相対幹距15%程度の除間伐の必要性を提言しているほか、高嶋（2012）による立地環境別にみた生育状況や、侵入種との競争関係についての報告がある程度であり、壮齢林における除間伐等の密度管理基準は不十分なのが現状である。1980年代前半に植栽されたイジュ人工林では、林齢が30年生以上になり、早期に壮齢林の除間伐基準を検討する必要がある。

日本国内で一般的なスギ等の人工林については密度管理に関する研究報告が多くあり、樹高階、胸高直径階ごとの密度と幹材積

の関係や、最多密度等から密度管理図も作成されている。また、国内の広葉樹人工林に関しては、ケヤキ人工林について、樹冠幅を指標にした密度管理の研究事例（谷口ほか，2001）などがある。しかし、これらの指標を亜熱帯地域に特有の広葉樹でデータの少ないイジュに適用するのは難しい。

そこで本研究では、まず6、7 齢級のイジュ人工林を対象に、施業履歴と立地条件が異なる3つの林分を調査し、調査区別にみたイジュと侵入種の生育状況について明らかにした。そして、胸高直径と樹冠幅、樹冠表面積との関係性を確認し、樹冠を指標とした除間伐基準の検討を行った。なお本研究では、（安里ほか，2003）にならい、除伐と間伐を同時に行うことを除間伐とし、その際の密度管理の基準を除間伐基準とした。

II. 対象地および方法

まず調査区Aとして、高嶋（2012）により、国頭村村有林24林班に小班に設けられた10m×30mの調査区を用いた（図-1）。立地は斜面上部から下部までの地形を網羅する形である。調査区

^{*1} Oda, Y., Takashima, A. and Shiba, M. : Determining the standards for cleaning and thinning of Iju (*Schima wallichii*) plantations in northern Okinawa.

^{*2} 琉球大学大学院農学研究科 Grad. Sch. Agric., Univ. Ryukyus, Nishihara, Okinawa 903-0213, Japan.

^{*3} 琉球大学農学部附属亜熱帯フィールド科学教育研究センター与那フィールド Yona Field, Subtropical Field Science Center. Fac. Agric., Univ. Ryukyus, Kunigami, Okinawa 905-1427, Japan.

^{*4} 琉球大学農学部 Fac. Agric., Univ. Ryukyus, Nishihara, Okinawa 903-0213, Japan.

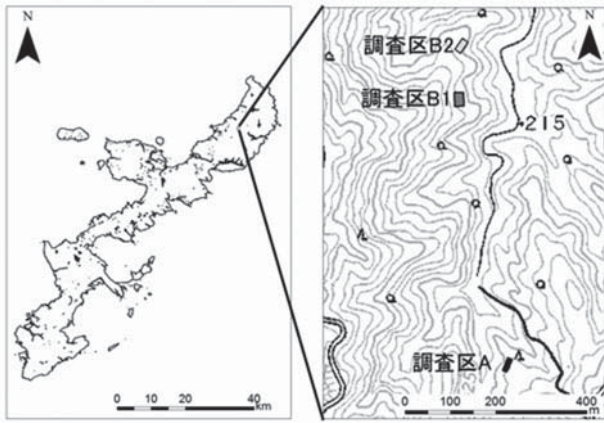


図-1. 調査区位置図 [右の図は国土地理院の数値地図25000(地図画像)「沖縄」を使用]

Aは1988年に4,400本/haの密度でイジュが植栽された後、12年生時に除間伐が行われた林分である。この除間伐は3,000本/haの密度を目標として行われ、イジュの他にも、直径が大きく、通直性の良好な侵入種も保残された。2009年の調査では、胸高直径4cm以上の全幹を対象に樹種名と胸高直径が記録されている(高嶋, 2012)。そして本研究では2014年に調査を行い、胸高直径、樹高、着葉高、4方向の樹冠半径、3次元での立木位置を記録した。

次に調査区B1として、高嶋(2012)により、琉球大学与那フィールド77林班を小班に設けられた20m×30mの調査区を用いた(図-1)。立地は斜面下部にあたるが、調査区内に小さな凸地形もみられる。調査区B1は1980年に4,400本/haで植栽され、除間伐は行われていない。2011年の調査では、胸高直径4cm以上の幹の樹種名、胸高直径、3次元での立木位置が記録されている(高嶋, 2012)。そして本研究では2013年に調査を行い、胸高直径、4方向の樹冠半径を記録し、2015年には樹高、着葉高を記録した。

調査区B2として、2015年に、琉球大学与那フィールド77林班の小班に15m×30mの調査区を設けた(図-1)。立地は斜面上部にあたる。調査区B2は1980年に4,400本/haで植栽さ

れ、除間伐は行われていない。本調査では、胸高直径4cm以上の幹の樹種名、胸高直径、樹高、着葉高、4方向の樹冠半径、3次元での立木位置を記録した。3調査区の以上の基礎情報及び施業履歴を表-1に示す。

調査区Aについては、2014年の調査結果を用いたため、26年生の林分とする。調査区B1については、2013年の調査直後に調査区域の半分にあたる10m×30mの区域で除間伐が行われた。2013年の調査結果を用いたため除間伐が行われていない33年生の林分としているが、樹高、着葉高に関しては、除間伐が行われなかった10m×30mの区域の対象木について、2015年の調査で追加測定した。調査区B2については、2015年の調査結果を用いたため、35年生の林分としている。

樹冠長は本来、樹高から枝下高を差し引くことで算出される。しかし、対象地のイジュの場合、樹冠より大幅に低い位置で枝が分岐する個体も多く見られ、本来の方式では樹冠長を正確に算出できないと考えられた。そのため、本研究では樹冠の葉の下端位置までの高さを着葉高とし、樹高から着葉高を差し引くことで、樹冠長を算出している。

樹冠幅については、4方向の樹冠半径の和を2で除すことで樹冠幅としている。樹冠表面積については、樹冠を円錐形と仮定し、樹冠半径と樹冠長から算出しており、円錐側面の面積を樹冠表面積としている(1)。

$$S = \pi \times \sqrt{l^2 + \left(\frac{w}{2}\right)^2} \times \frac{w}{2} \quad (1)$$

ここでS: 樹冠表面積 (m²)、l: 樹冠長 (m)、w: 樹冠幅 (m) である。

上層木平均樹高については、イジュ人工林に適用可能な式(2)(安里ほか, 2003)を用いて算出した。

$$n = 1.1839m + 1.3753 \quad (2)$$

ここでn: 上層木平均樹高 (m)、m: 全対象木の平均樹高 (m) である。

そして、イジュと侵入種の生育状況、胸高直径と樹冠の関係性の結果をまとめるにあたって被圧木を定義した。被圧木の定義としては、地形を考慮して補正処理を行った補正樹高階ごとの本数分布より判断した。本調査区では、図-2より斜面下部ほど樹高

表-1 調査区の基礎情報及び施業履歴

| | 調査区 A | 調査区 B1 | 調査区 B2 |
|----------|-------------------|-----------------------------|------------------------|
| 場所 | 国頭村村有林 24林班に小班 | 琉球大学与那フィールド 77林班を小班 | 琉球大学与那フィールド 77林班の小班 |
| 調査区サイズ | 10m×30m | 20m×30m | 15m×30m |
| 立地 | 斜面上部から下部まで | 斜面下部 | 斜面上部 |
| 調査年 | 2014年(26年生) | 2013年(33年生) 2015年(35年生)※ | 2015年(35年生) |
| 植栽密度 | 4,400本/ha | 4,400本/ha | 4,400本/ha |
| 除間伐の有無 | 有り(12年生時) | 無し | 無し |
| 除間伐の目標密度 | 3,000本/ha | - | - |

※2013年に胸高直径、樹冠半径を記録、2015年に樹高、着葉高を記録した。

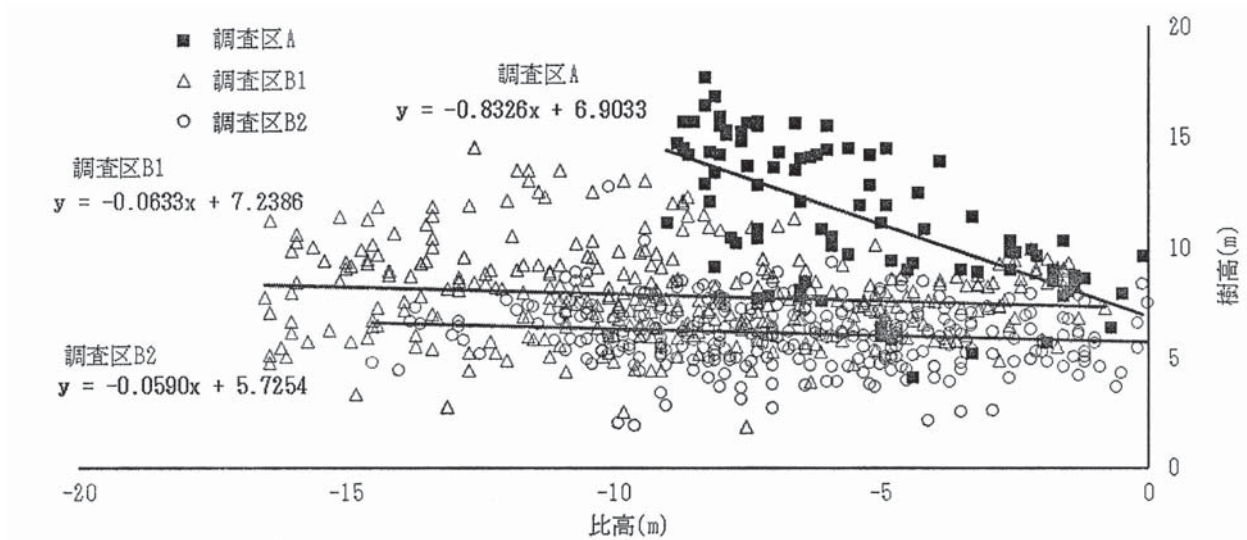


図-2. 立木の根元位置の比高と樹高の関係

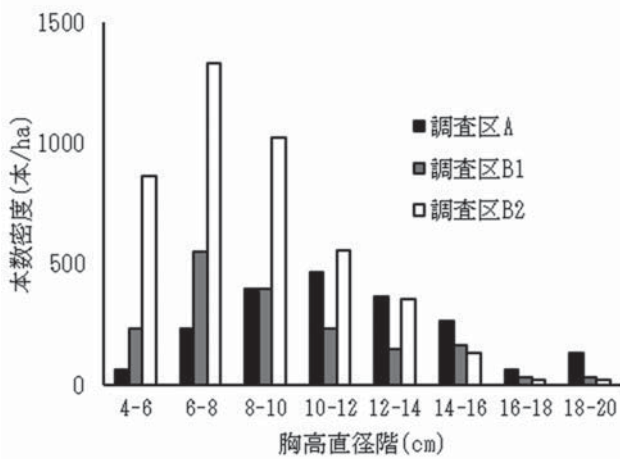


図-3. 各調査区におけるイジュの胸高直径階別本数分布

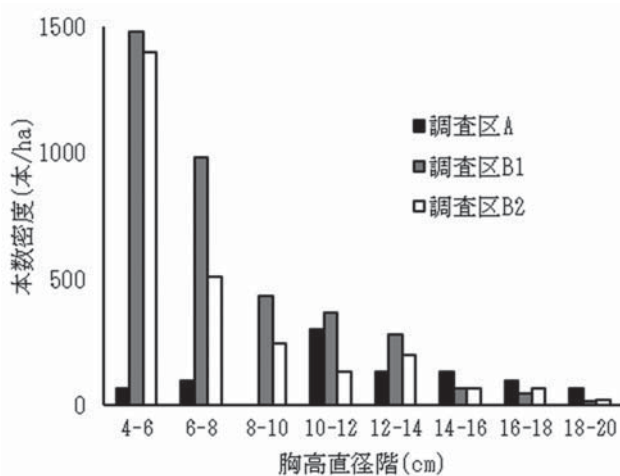


図-5. 各調査区における侵入種の胸高直径階別本数分布

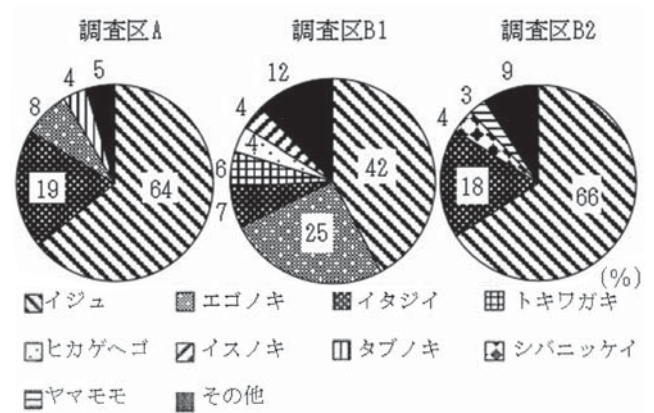


図-4. 各調査区の樹種別断面積割合

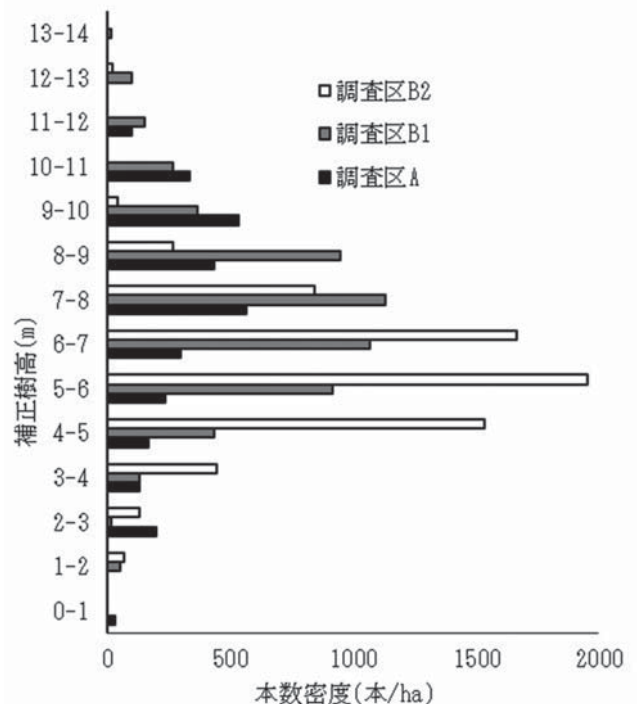


図-6. 補正樹高階別の本数分布

が高くなる傾向があったため、式 (3) にて地形に沿った補正樹高を算出した。

$$h=H - (z \times a) \quad (3)$$

ここで、 h : 補正樹高 (m), H : 樹高 (m), z : 比高 (m), a : 回帰式の係数である。

生育状況の違いを調査区間で確認するため、イジュ、侵入種のそれぞれ胸高直径、樹冠幅、樹冠表面積について調査区間で多重比較を行った。なお多重比較を行う際には Tukey-Kramer 法を用いた。

Ⅲ. 結果および考察

1. 林分構造

調査区 A では、全立木密度が 3,033 本/ha、そのうちイジュの立木密度は 2,067 本/ha となっていた。全対象木の平均樹高は 11.5 m、上層木平均樹高は 15.0 m、相対幹距は 12.1% であった。3 齢級時の除間伐の適正相対幹距は 15% 程度とされており (安里ほか, 2003)、それと比較すると密な状態になっている。イジュの胸高直径については、平均胸高直径が 11.8 cm で、胸高直径階 18 - 20 cm の幹も存在したが、多くが 16 cm 以下である (図-3)。樹種別の断面積比はイジュが 6 割程度で、4 割近くがイタジイやエゴノキといった侵入種であった (図-4)。侵入種の胸高直径については、平均胸高直径が 13.0 cm で、胸高直径階 18 - 20 cm の幹も存在し、10 - 12 cm が分布のピークであった (図-5)。

調査区 B1 では、全立木密度が 4,917 本/ha、イジュの立木密度は 1,800 本/ha となっていた。全対象木の平均樹高は 7.9 m、上層木平均樹高は 10.7 m、相対幹距は 12.5% であった。イジュの胸高直径については、平均胸高直径が 9.8 cm で、胸高直径階 6 - 8 cm が分布のピークであった (図-3)。樹種別の断面積比はイジュが 4 割程度で、大半がエゴノキやイタジイ等の侵入種であった (図-4)。侵入種の胸高直径については、平均胸高直径が 7.7 cm で、胸高直径階 4 - 6 cm が分布のピークであった (図-5)。

調査区 B2 では、全立木密度が 6,200 本/ha、イジュの立木密度は 3,889 本/ha となっていた。全対象木の平均樹高は 6.1 m、上層木平均樹高は 8.6 m、相対幹距は 13.9% であった。イジュの胸高直径については、平均胸高直径が 8.4 cm で、胸高直径階 6 - 8 cm が分布のピークであった (図-3)。樹種別の断面積比はイジュが 7 割程度であり、全調査区の中で最も高かった (図-4)。侵入種の胸高直径については、平均胸高直径が 7.2 cm で、胸高直径階 4 - 6 cm が分布のピークであった (図-5)。

調査区 A は B1, B2 と比較して林齢が若いものの、イジュの平均胸高直径は調査区 A が最も大きかったことから、12 年生時に行われた除間伐の効果が表れているものと考えられる。しかし、26 年生時でのイジュ平均胸高直径は 11.8 cm であり、主伐可能な直径サイズには達していない。イジュの標準伐期齢は、他の広葉樹と区別されず 30 年とされている (沖縄県, 2013) が、除間伐も行われ比較的直径成長も良好な林分の場合でも上記のような結果であるため、30 年伐期での主伐は難しく、伐期を延長する

ことが妥当と考えられる。また、本研究の対象地のように多くの侵入種が生育し、直径サイズもイジュに迫っている林分では、今後全ての侵入種を除去することは、植栽木の損傷リスクが高まることから難しいと考えられる。

また、調査区 B1, B2 の施業履歴は等しいものの、イジュ立木密度には大きな差が見られた。イジュの生育や、侵入種の侵入程度は斜面位置等の立地条件によっても大きく影響されると推察される。

図-6 より、地形を考慮した補正樹高階で本数の分布をみた際に、本数が集中している補正樹高階のうち、最低の階を林冠の下端とみなすことができる。そのように定めた林冠の下端は、調査区 A で補正樹高 7 m、同様に調査区 B1 で 5 m、調査区 B2 で 4 m であった。そして、補正樹高が林冠の下端に達していない幹を被圧木と定義した。以降では、被圧木を除外して、林冠木のみの結果をまとめている。

2. イジュと侵入種の生育状況

イジュ、侵入種のそれぞれ胸高直径、樹冠幅、樹冠表面積について調査区間で多重比較を行った (図-7)。胸高直径、樹冠幅、樹冠表面積の全てにおいて、侵入種は調査区 B1-B2 間に有意差がなかったが、イジュに関しては全てにおいて調査区 B1-B2 間で有意差がみられ、成長に差が生じている結果となった。

また、侵入種は胸高直径、樹冠幅、樹冠表面積において、調査区 A-B1 間、A-B2 間に有意差がみられ、いずれの要素においても調査区 A で有意に生育が良い結果と言える。除間伐によりイジュの生育は改善されたとしたが、侵入種についても生育を促していると考えられる。調査区の立木位置及び林冠木の樹冠投影図を図-8 に示したが、図-8 から多くの侵入種の樹冠が確認できる。調査区 A では侵入種ではあるものの、直径が大きく、通直性が良好なイタジイやエゴノキが多く生育していた。本調査区の除間伐はこれら侵入種も残した除間伐であり、そのため侵入種の生育も促されたと考えられる。侵入種の生育状況が良好であり、さらに侵入種の中心となっているイタジイは板材等としての利用の可能性もあり (藤田, 1982)、侵入種についても経済価値を持つものもある。そのため、定期的な除伐が行われず侵入種が多く生育している林分については、直径が大きく、通直な侵入種も保残するような除間伐が適していると考えられる。

3. 胸高直径と樹冠の関係性

イジュ林冠木の樹冠幅と胸高直径の関係を図-9 に、同様に樹冠表面積と胸高直径の関係を図-10 に示す。全調査区で、樹冠幅と胸高直径、樹冠表面積と胸高直径の関係と同程度の相関がみられた。そのため、樹冠幅または、樹冠表面積を指標に除間伐基準を検討できると考えられる。樹冠幅は樹冠表面積と比較して測定にかかる負担が小さいため、以降は樹冠幅を指標として除間伐基準を検討した。

図-10 の散布図より調査区 A を省き、齢級が等しい調査区 B1 と B2 のみの結果を用い、両調査区を統合した形で回帰直線を求めた (図-11) (4)。

$$y=3.3894x + 2.8547 \quad (4)$$

ここで、 y = 胸高直径 (cm), x : 樹冠幅 (m) である。

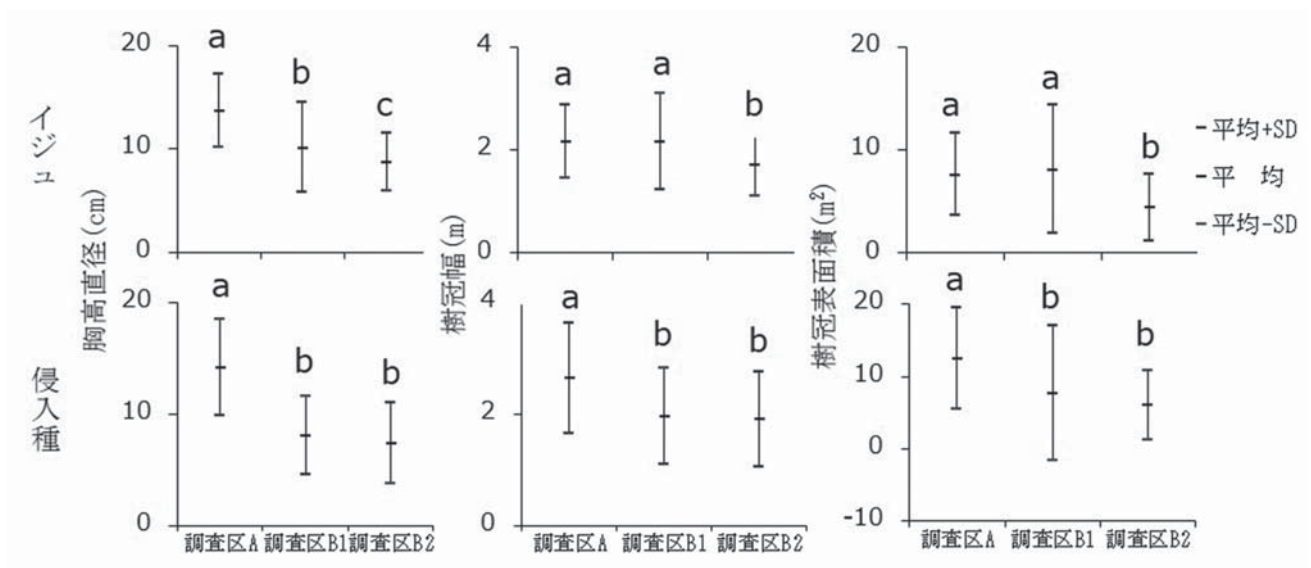


図-7. 調査区間の樹型の多重比較

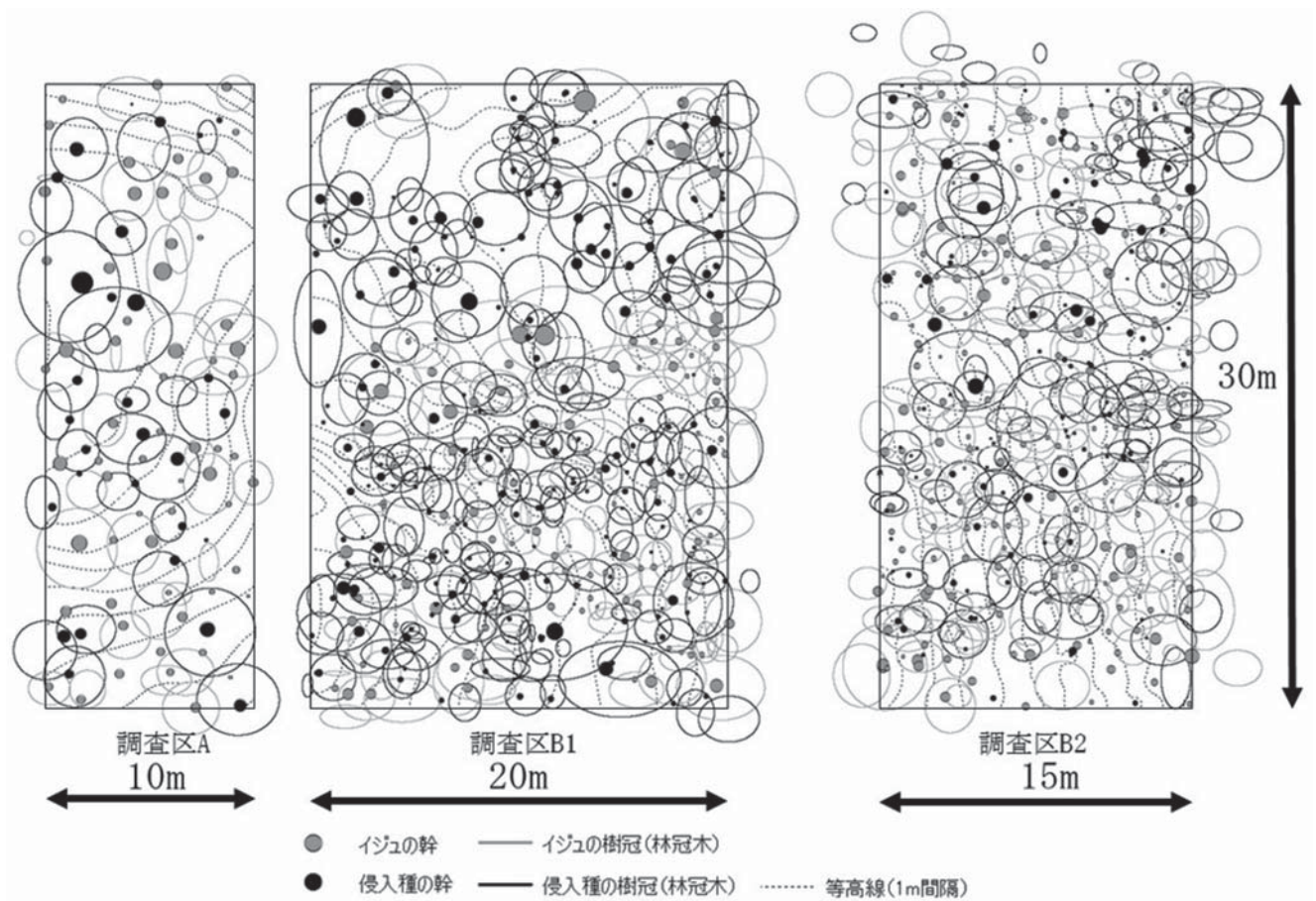


図-8. 各調査区の立木位置及び林冠木の樹冠投影図

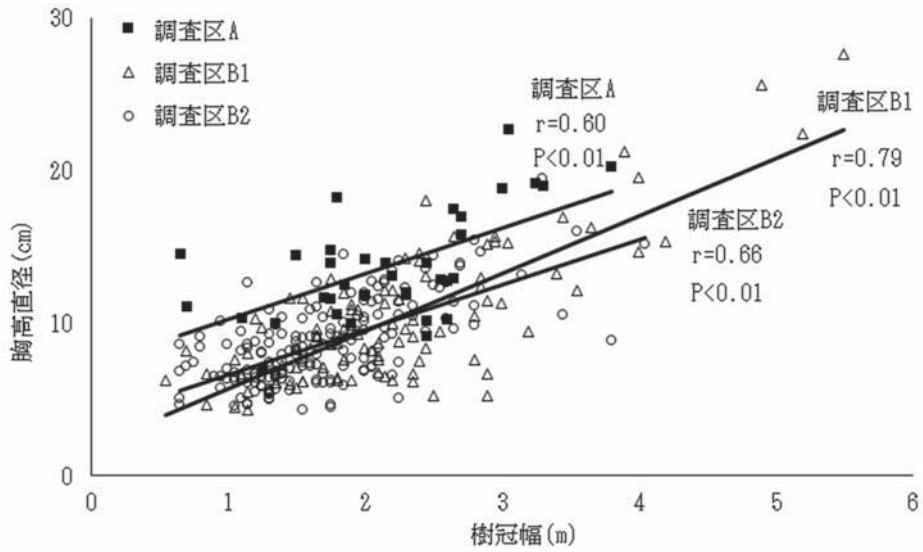


図-9. イジュ林冠木の樹冠幅と胸高直径の関係

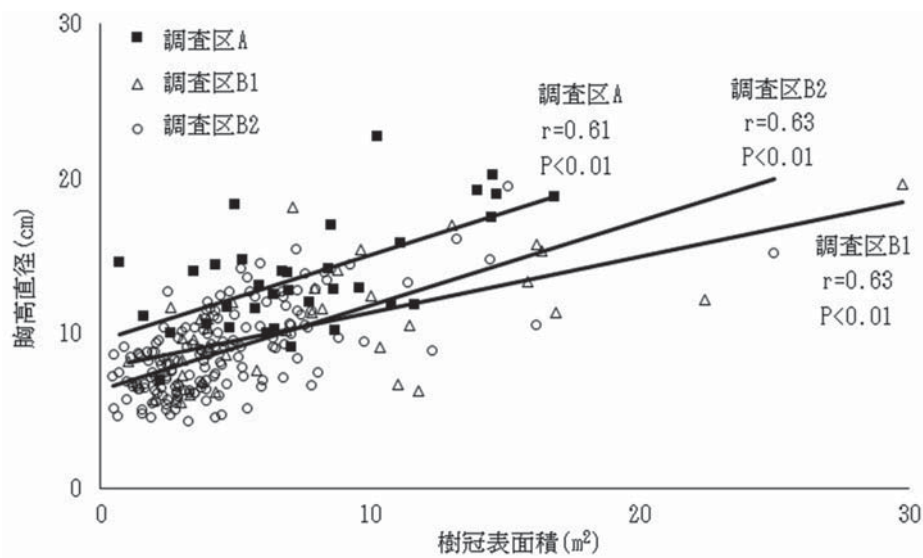


図-10. イジュ林冠木の樹冠表面積と胸高直径の関係

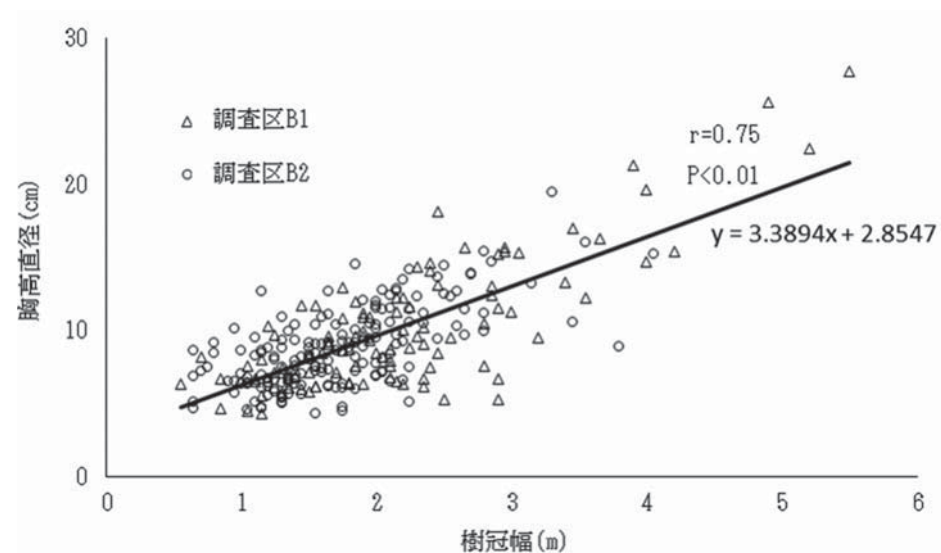


図-11. 7 齢級林分におけるイジュ林冠木の樹冠幅と胸高直径の関係

表-2 式(4)から求めたイジュの平均胸高直径に対する林分構造因子の推定値

| 平均胸高直径 (cm) | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 樹冠幅 (m) | 1.5 | 1.8 | 2.1 | 2.4 | 2.7 | 3.0 | 3.3 | 3.6 |
| 立木密度 (本/ha) | 4,339 | 3,042 | 2,250 | 1,732 | 1,374 | 1,116 | 925 | 779 |
| 調査区 B1の相対幹距 (%) | 14.3 | 17.1 | 19.9 | 22.7 | 25.5 | 28.2 | 31.0 | 33.8 |
| 調査区 B2の相対幹距 (%) | 17.7 | 21.1 | 24.5 | 27.9 | 31.4 | 34.8 | 38.2 | 41.7 |

式(4)より、平均胸高直径に対応した平均樹冠幅が算出できる。同時に、算出された幅の樹冠が互いに重なり合わない立木密度も算出される。この立木密度と B1、B2 両調査区の上層木平均樹高(調査区 B1では 10.7 m、B2では 8.6 m)から相対幹距が算出され、平均胸高直径 8~15 cm の場合について表-2 に示した。7 齢級にあたる調査区 B1 のイジュ林冠木の平均胸高直径は 10.1 cm であり、式(4)にあてはめると樹冠幅は 2.1 m、立木密度は 2,188 本/ha、相対幹距は 20.2% となった。同様に齢級が等しい調査区 B2 のイジュ林冠木の平均胸高直径である 8.7 cm の場合は、樹冠幅 1.7 m、立木密度 3,362 本/ha、相対幹距 20.1% となった。安里ほか(2003)は 3 齢級時の除間伐の適正相対幹距は 15% 程度としているが、本結果からは、7 齢級時における蓋然的な適正相対幹距として 20% 前後という目安が示された。しかし、林分が疎な状態となると、風や乾燥の影響も心配される。今後は、実際に除間伐試験等を行い、風や乾燥といった環境要因の影響を検証する必要がある。なお、本調査地は侵入種割合が高く、示された除間伐基準は十分に正確ではないものの、密度管理がされた林分が少ない状況では、早期に実用可能な目安となると考えられる。

謝辞

調査の実施にあたり、琉球大学農学部附属亜熱帯フィールド科学教育研究センター与那フィールドの技術職員にご協力をいただいた。ここに謝意を表します。

引用文献

- 安里練雄ほか(2003) 琉球大学農学部学術報告 50: 71 - 75.
 藤田晋輔(1982) 鹿児島大学農学部演習報告 10: 15 - 28.
 藤田晋輔・遠矢良太郎(1988) 鹿児島大学農学部学術報告 38: 211 - 221.
 沖縄県(2013) 沖縄北部地域森林計画書.
 沖縄県農林水産部森林管理課(2015) 沖縄の森林・林業 平成 26 年版.
 高嶋敦史(2012) 九州森林研究 65: 57 - 59.
 谷口真吾ほか(2001) 森林応用研究 10(2): 89 - 92.
 (2015 年 10 月 23 日受付; 2016 年 2 月 12 日受理)