

## 学位論文全文に代わる要約 Extended Summary in Lieu of Dissertation

氏名： 山崎 真  
Name

学位論文題目： 地形に適した作業システムの導入に関する研究  
Title of Dissertation

学位論文要約：  
Dissertation Summary

### 1 研究の背景と手法

高知県は県土の 84%を林野が占め、そのうち約 65%がスギ・ヒノキを主とした人工林という全国屈指の林業県である。その素材生産量は、1988 年度の 936 千 m<sup>3</sup> をピークに減少し、2010 年度には 404 千 m<sup>3</sup> まで落ち込んでいたが、森林組合や素材生産業者が増産に取り組んだ結果、2016 年度には 628 千 m<sup>3</sup> まで回復している。高知県のバイオマスを含む原木需要状況をみると、2013 年度には県の中部に大型製材所、2015 年度には中部と西部に相次いでバイオマス発電所が稼働を開始したことから、原木及びバイオマスの需要が高まっている。そこで、高知県は産業振興計画を掲げ、2025 年度までにバイオマスを含む原木生産量を 900 千 m<sup>3</sup> に増産することを目標に取り組んでいるところである。

一方、高知県の森林の約 60%が傾斜角 30 度以上の急傾斜地に成立していることから、伐木集造材において、効率的な車両系高性能林業機械を直接林内に入れて作業をすることが困難であり、ワイヤーロープを使った架線系林業機械による集材作業が主に行われている。近年では、より生産性に優れたスイングヤーダやタワーヤーダなどの架線系の高性能林業機械が導入されるようになり、これらの林業機械を地形条件に応じて活用することで、効率的に原木増産が可能になると考えられる。そこで、本研究では、高知県をそれぞれ特徴のある区域に分け、その区域の地形条件から適した作業システムを選択する手法を検討した。

区域は、高知県の地域森林計画による森林計画区や森林組合の管轄、林業事業体の森林施業の方法等を勘案し、高知県の主な河川流域を主体として東から東部流域、物部川流域、吉野川流域、仁淀川流域、四万十川流域、西部流域の 6 つの区分とした (図 1)。

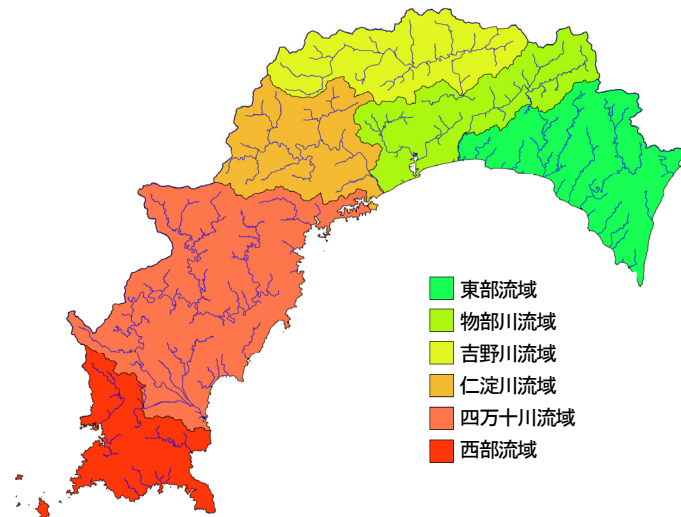


図 1 主な河川と流域区分

### 2 現状の把握

流域ごとにスギ・ヒノキの植生状況や素材生産量、林業機械の導入状況、作業道の開設状況、地形条件を調査した。スギ・ヒノキの植生状況は面積比率で比較したところ、東部、物部川、仁淀川流域

ではスギ・ヒノキの割合がほぼ半数であった。吉野川流域ではスギ林が多く約 70%を占め、一方で四万十川流域では 75%，西部流域では 85%がヒノキ林であり，それぞれの流域で植生状況に違いがあることが明らかになった。また，原木の生産状況を把握するため，ha 当たりの素材生産量を比較したところ，吉野川流域が最も多く 1.56m<sup>3</sup>/ha であり，他の流域はおおむね 0.8~0.9m<sup>3</sup>/ha であった。これは，吉野川流域は単木材積が大きいスギが多く，同流域内には大型製材所があることなどが理由に挙げられる。林業機械の導入状況では，グラップル，プロセッサ，ハーベスタ，スイングヤーダの機種別と，これらの機械のベースマシンであるエクスカベータの大きさごとに流域別の導入状況を調査した。エクスカベータの大きさは，バケットサイズが 0.40m<sup>3</sup>未満のものを S サイズ，0.40~0.60m<sup>3</sup>を M サイズ，0.60m<sup>3</sup>以上を L サイズとして 3 段階に分類し，民有林 10,000ha 当たりの導入台数で比較した (図 2)。この結果から，東部流域と物部川流域では，M サイズのスイングヤーダ，プロセッサが多く導入されており，これらの機械を使用する列状間伐が多く行われていることが示唆された。また，吉野川流域では M サイズのプロセッサが多いことから，集材を本格架線，造材をプロセッサで行う作業システムが採用されていると考えられる。仁淀川流域ではこれらの林業機械の導入数が少なく，今後機械化によって作業効率が向上することが考えられる。四万十川流域では高密度路網による S サイズのウインチ付きグラップルを使った集材作業システムが導入されており，西部流域では M サイズのウインチ付きグラップルによる集材とプロセッサによる造材の作業システムが多く導入されていることが示唆された。

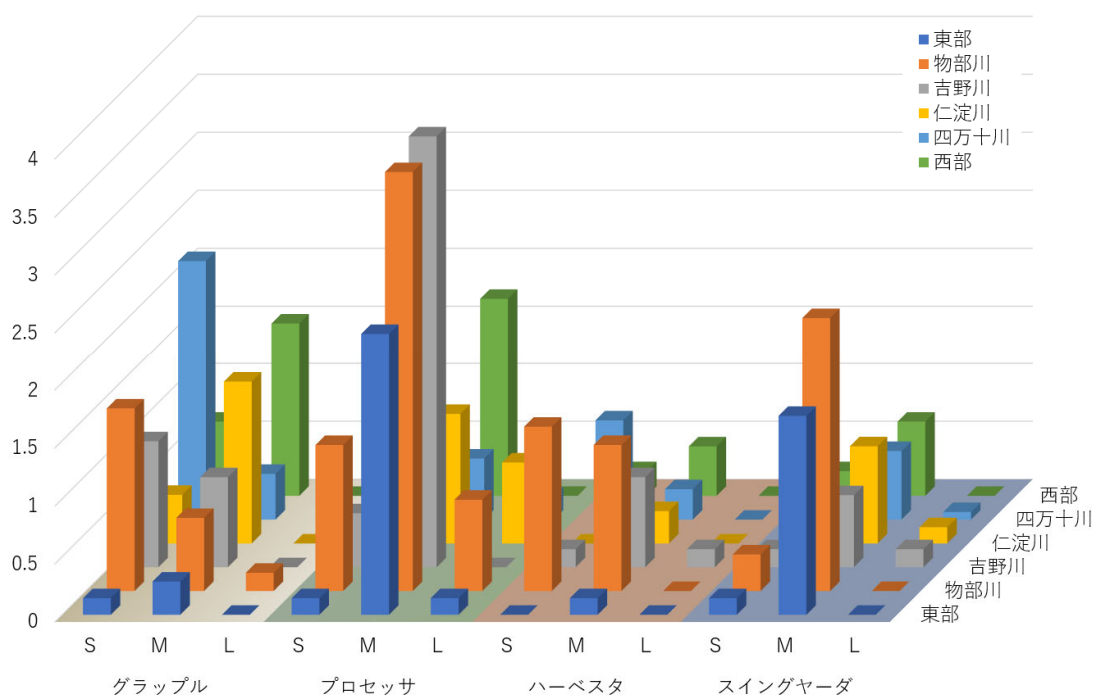


図 2 流域別林業機械導入状況 (民有林 10,000ha 当たり導入台数)

### 3 地形条件と作業システム

地形の平均傾斜，起伏量，等高線迂回率から地形特性を表し (後藤 2016)，その地形特性から流域ごとに地形に適した集材作業システムの導入について検討を行った (図 3, 4)。東部流域では，特に本格架線集材に適した地域が多く，林地の約 44%を占めている。また，タワーヤーダの適地が約 30%を占めている。これらはこの流域に急傾斜地が多いことに起因していると考えられ，中~長距離架線集材を主体とした作業システムに適した流域であると判断できる。物部川流域では，本格架線の適地

(様式5) (Style5)

が約36%を占め、タワーヤーダの適地も約23%を占める。特に物部川上流に本格架線の適地が多く、中流域には0.25m<sup>3</sup>クラスの林業機械の適地も20%程度存在することから、地区ごとに適した作業システムを選択することが求められる。また、吉野川流域では、本格架線が41%、タワーヤーダが35%で中長距離架線の適地が76%となっている。一方で0.45m<sup>3</sup>クラスの林業機械、特にスイングヤーダの適地が吉野川南岸に集中的に存在していることから、これらの林業機械を効率的に使うことも検討の余地がある。仁淀川流域においても、吉野川流域と同じく本格架線及びタワーヤーダの適地が70%を超えており、これらの中～長距離架線の適地は仁淀川上流域に広がっている。一方で、0.25～0.45m<sup>3</sup>クラスの林業機械の適地が21%程度、仁淀川中流域に多く存在している。四万十川流域では、本格架線の適地が20%と少なく、タワーヤーダの適地が33%と中距離架線取材の適地が多いと考えられる。0.15m<sup>3</sup>クラスのウインチ付きグラップルの適地が16%あり、0.25m<sup>3</sup>クラスのウインチ付きグラップルも11%であることから、単線地曳集材の適地も多くあると考えられる。西部流域は他の流域と大きく異なり、本格架線の適地が少なく5%程度である。タワーヤーダの適地も22%と他の流域と比べて少なく、一方で0.15～0.45m<sup>3</sup>クラスのウインチ付きグラップルの適地が40%程度あり、単線地曳き集材に適した地形が多くあると考えられる。その他、グラップルの適地も約20%あることから、高密度路網に適した地形が多いと言える。西部流域には地質的に花崗岩を多く含む箇所があり、風化した花崗岩により標高の低い山地が広がっていることが原因の一つであると考えられる。

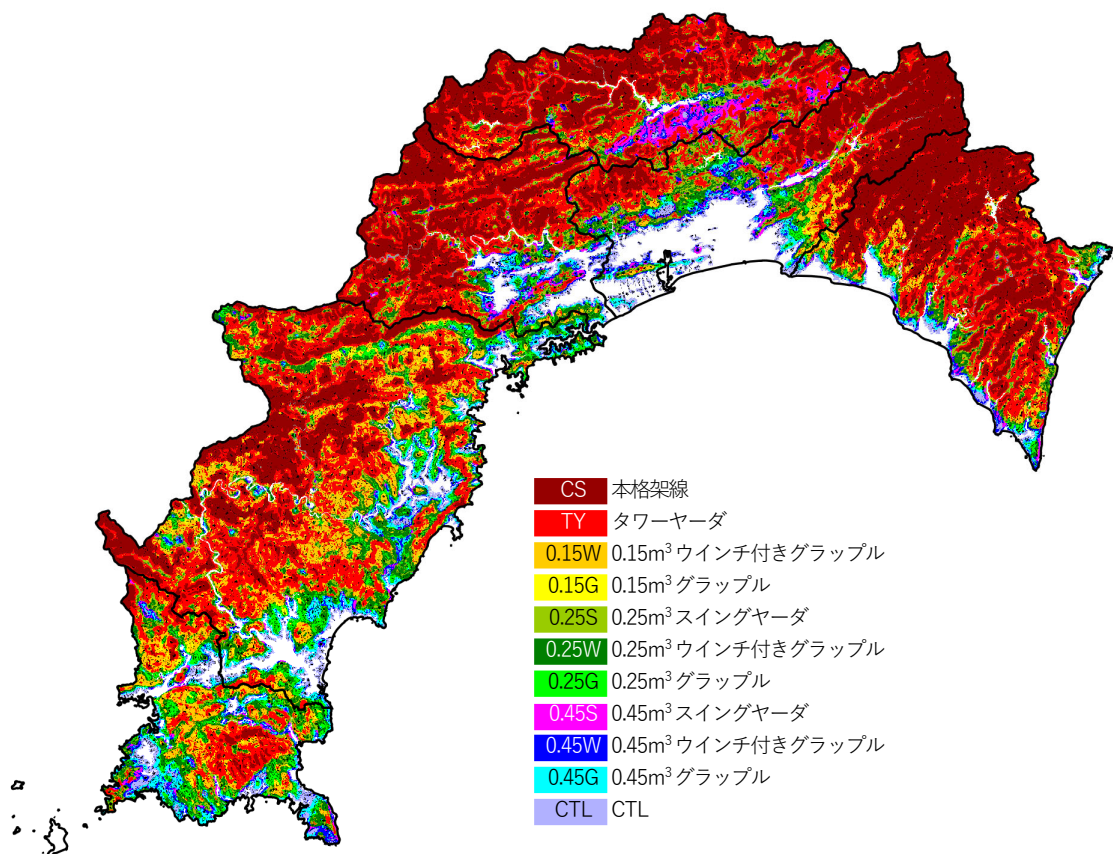


図3 流域ごとの地形特性による林業機械の分類

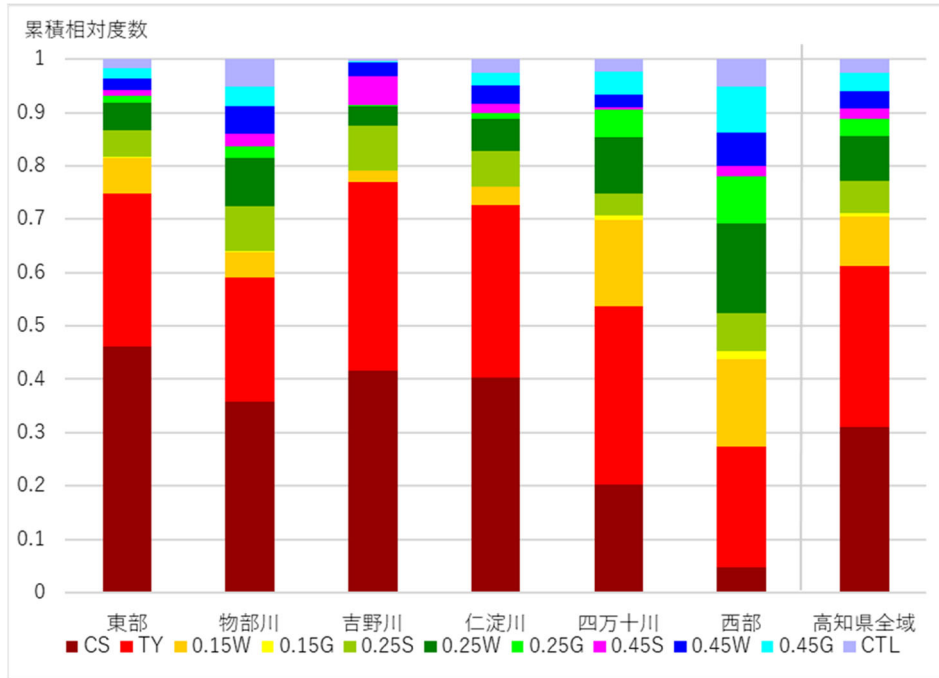


図4 流域ごとの地形特性からみた作業システムに適した地形の度数

#### 4 作業システム導入に際しての具体的な課題に関する事例研究

上記研究の結果から、高知県に適地が多い本格架線集材、タワーヤード集材、ウインチ付きグラップル集材について、それぞれの課題解決のための調査研究を行った。また、原木増産に必要とされるバイオマス発電施設への燃料供給や安定稼働のため、課題解決に向けた分析を行った。

##### 4.1 長距離架線集材のコストバランス

本格架線には多数の索張り方式があるが、索張り方式として最も典型的で主に皆伐に適用されるエンドレスタイラー方式と、その発展形であり、主に間伐で適用されるコレクター方式とH型架線方式について、それぞれの索張り方式の特徴や、作業にかかる生産性、コストを分析し、比較を行った(図5)。間伐に係る索張り方式では、コレクター方式は単線で架設し労働生産性が低く総コストが原木収入を上回ることがあり、H型架線方式は架設コストが高くなるが、広大な事業地に連続して架設

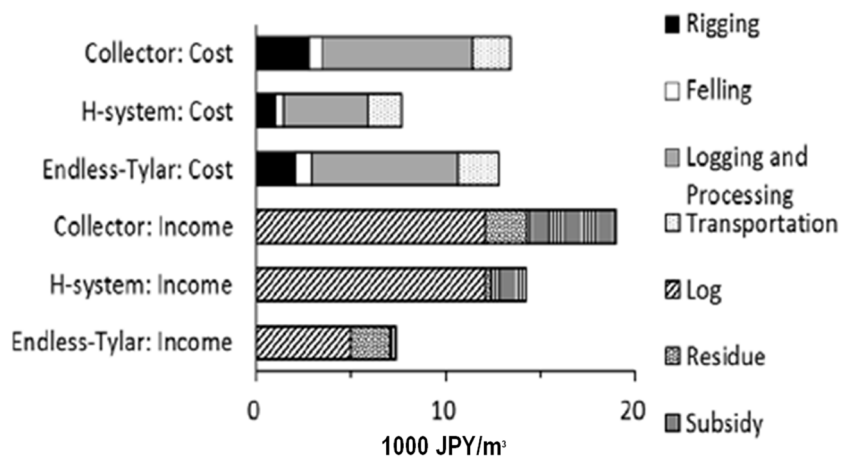


図5 索張り方式によるコスト比較

注：エンドレスタイラー方式を除く間伐施業（鈴木ら 2011, 2015）

することによりその負担を軽減することでき、集材効率も向上するという結果となった。また、本格架線共通の課題として、これらの索張方式で使用される集材機は、現在製造可能な業者がほとんどなくなっているということがあげられる。現在は古い集材機を修理・改修して使用している状態であり、新たな集材機の製造・開発が必要であると考えられる。また、本格架線の熟練した技術者が少なくなっており、優れた技術を次世代に引き継ぐことも課題の一つである。

#### 4.2 中距離架線集材における生産性と作業道開設・改良コスト

中距離架線集材では、集材作業の自動化が可能な欧州製タワーヤードを導入した集材作業システムの検証を行った。高知県南国市黒滝の集材施業地において、タワーヤード集材作業システムと、従来の単線地曳による集材作業システムの生産性を調査し、比較した。その結果、径級等の条件の違いもあったが、タワーヤード集材作業システムの方が生産性は高いという結果となった。

また、事業地にタワーヤードを現場へ導入し集材作業を行うには、幅員が広い作業道が必要であることから、既設の幅員の狭い作業道を高規格作業道に改良する必要があった。高規格作業道にすることにより、10tトラックが集材現場まで導入可能となり、現場から市場までの原木の直送が可能となる。なお、地形条件等により高規格作業道に改良できなかった箇所は、スイングヤードによる施業が可能であり、8tトラックが走行可能な作業道に改良した。それらの作業道の改良にかかった経費を含めたスイングヤード・タワーヤード集材作業システムの作業コストと、従来の単線地曳集材作業システムの作業コストを比較した結果、事業地全体ではスイングヤード・タワーヤード集材作業システムがトータルコストでも有利であるという結果となった(表1)。この結果から、集約化された事業地において既設の低規格作業道を高規格作業道に改良することにより、タワーヤードやスイングヤード等の高性能林業機械の導入と10tトラックの市場への直接運材を可能にし、森林施業の作業コストの低減を図る一例を示した。

表1 作業道改良前後尾の伐木造材、運材作業コスト比較

区分	項目	面積 (ha)	出材積 (m <sup>3</sup> )	コスト(円/m <sup>3</sup> )			
				作業道 開設・改良	伐木 集造材	現場内運材	合計
改良前	単線地曳集材 (既設作業道)	133.8	15,478	-	9,476		
	単線地曳集材 (追加作業道分)	101.7	11,765	2,050	9,476		
	全体	235.5	27,243	2,050	9,476	1,532	13,058
改良後	タワーヤード	192.3	22,246	1,430	6,662		
	スイングヤード上荷	14.2	1,642	2,747	4,125		
	スイングヤード下荷	9.8	1,134		5,693		
	単線地曳	19.2	2,221	-	10,235		
	全体	235.5	27,243	1,448	6,760	687	8,895

#### 4.3 林業用高強度合成繊維ロープの損傷程度と残存強度

近距離集材では、従来からウインチ付きグラップルによる単線地引集材が行われており、作業道の開設に制約のある急傾斜地での集材には依然必要な手法であることから、作業の安全性、省力化が求められている。近年、省力化のために、従来の鋼製のワイヤーロープに代わり林業用高強度合成繊維ロープが使われるようになってきている。高強度合成繊維ロープは同径のワイヤーロープと比べ軽量で扱いやすいが、摩耗に弱いという特性がある。急傾斜地における単線地引集材では、ロープが立木等にこすることがあり、摩耗することが避けられないことから、摩耗による交換時期の適切な判断のために損傷程度と残存強度の関係を明らかにした(図6)。



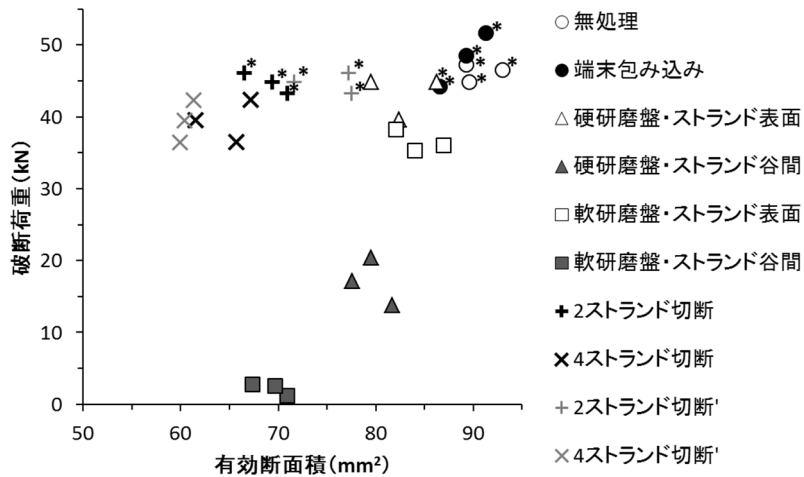


図6 破断加重と有効断面積の関係

注) 「ストランド切断」は切断部の実測外径, 「ストランド切断\*」は無処理部の外径から切断ストランド分の断面積を割り引いて有効断面積 (それぞれ  $A$ ,  $A'$ ; 本文の式7 および8 を参照) を算出した。\*: 端末処理部で破断したもの。

#### 4.4 高知県における木質バイオマス発電の現状と課題

高知県の2カ所の木質バイオマス発電施設である県中部の高知市(T)と県西部の宿毛市(G)について、発電事業を取り巻く状況から現状の要点をひろい出し、SWOT分析の手法で整理して考えられる課題について考察した(表2)。

それぞれの施設で設立組織や立地している地域の状況などに相違があり、考えられる課題についてもその特徴が表れた。共通している好条件は県の施策としての素材増産の動きであるが、素材生産が活発な地域では燃料材の運搬に必要な車両が不足するという事態も発生している。林内路網などの基盤や事業体の育成も含め、総合的に生産基盤を整備していく必要がある。また、バイオマス材を効率よく収穫するためには、原料となる元玉や枝条等を一カ所に集める必要がある、集材後の造材方法についても検討する余地がある。単線地曳集材で行われる作業道沿いの林縁で単木ごとに行う造材方

表2 現状と課題のSWOT分析

		内部要因	
		Strength (強み)	Weakness (弱み)
		1. 市場との連携(T) 2. ペレット工場併設(G) 3. 新規事業(燃烧灰利用, 素材業者の起業)(G)	1. 枝条利用体制(T, G) 2. 市場との連携(G)
外部要因	機会 (Opportunity)	1. 素材増産(T, G) 2. 枝条供給の需要(T, G) 3. 基盤整備状況(T) 4. 人工林資源(T) 5. 広葉樹資源(G)	積極戦略 ・素材生産との更なる連携(T) ・広葉樹林の活用(G)
	脅威 (Threat)	1. 供給の季節変動(T, G) 2. 材需要の競合(T, G) 3. 運搬車両不足(T) 4. 基盤整備状況(G)	改善戦略 ・枝条利用体制の整備(T, G)
		差別化戦略 ・共販所やストックヤードを活用した材供給の平準化(T) ・ペレットと新規事業の強化(G)	致命傷回避・撤退縮小 ・車両や路網など運搬基盤の補強(T, G) ・中間土場の整備(G)

積極戦略, 強みを活かして機会を最大限に活用する戦略; 改善戦略, 弱みが原因で機会を逸失しない戦略; 差別化戦略, 外部の脅威を回避しながら強みを活かす戦略; 致命傷回避・撤退縮小戦略, 弱みが原因で脅威が増長して最悪にならない戦略(長谷川 2011)。

## (様式5) (Style5)

法よりも、スイングヤーダやタワーヤーダによる列状間伐や、本格架線による間伐方法であれば、一カ所で複数本の造材を行うことから作業道上や土場に枝条等が集まりやすく、バイオマス材が収穫しやすくなると考えられる。バイオマス材を収穫する側面からも、中長距離集材は有効と考えられる。

### 5 まとめ

本研究では、林地の地形条件が厳しく、現在でも様々な架線集材が行われている高知県において、流域ごとの林業の特性や状況を示し、地形特性から導入すべき適した作業システムを提示した。そして、それらの作業システムについて課題解決に向けた事例研究を行い、作業システムの導入に向けた方向性を示した。また、新規稼働したバイオマス発電施設については燃料供給や安定稼働に向けた分析を行った。これらの研究結果を原木増産に取り組むための基礎資料とし、県の林業普及指導員やフォレスターと協力して現場への普及に努めることを提案した。

### 引用文献

- 後藤純一 (2016) 地域特性を用いた伐出システムの分類, 日本森林学会大会学術講演集 127 : P2-038.
- 長谷川豊祐 (2011) 変化への適応 : 大学図書館における業務分析と業務管理手法. 情報の科学と技術 61 : 311-316.
- 鈴木保志・Setiawan, A.H.・後藤純一 (2015) 人工林の高齢級化に伴う伐出システムの観点から見た路網整備の方向性と課題. 日本森林学会誌 97 : 191-202.
- 鈴木保志・後藤純一・杉本純佑・山崎敏彦・山口達也・中屋 貴・戸田 篤 (2011) コレクター集材による間伐作業の生産性・経済性と残存木損傷. 森林利用学会誌 26 : 163-172.

(注) 要約の文量は、学位論文の文量の約10分の1として下さい。図表や写真を含めても構いません。(Note) The Summary should be about 10% of the entire dissertation and may include illustrations