

氏名	とよだ やすし 豊田 康嗣
授与学位	博士(工学)
学位授与年月日	平成30年9月25日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科(博士課程) 土木工学専攻
学位論文題目	流出解析モデルを利用した小水力発電事業評価法の開発と林業域への適用
指導教員	東北大学教授 風間 聡
論文審査委員	主査 東北大学教授 風間 聡      東北大学教授 田中 仁 東北大学教授 今村 文彦      東北大学准教授 小森 大輔

## 論文内容要旨

水力発電は温室効果ガスを排出しないクリーンな純国産自然エネルギーであるが、太陽光や風力に比べると水力発電の普及はなかなか進まないのが現状である。その理由として観測流量の不備、建設コストが高く資金回収に長い時間がかかることがあげられる。一方で水力発電設備は一般的に山地森林域に位置するため、林業域における導入も想定される。しかしながら近年、木材単価の低迷や林業従事者の高齢化等によって荒廃が進行している林業域も存在する。本論文では、流出解析モデルにより流況の計算を行い観測流量の不備を補い、さらに発電賦存量ならびに発電設備等の導入コストの評価を簡易に計算できる評価モデルを構築した。この評価モデルを林業域に適用し、一般市販管の利用や林業設備の活用による低コスト化を踏まえた水力発電の事業成立性を評価した。

観測流量を解析し、流況を把握するには10年以上のデータが必要であること、支川の影響を考慮することが望ましいことを示した上で、観測を補うことが可能な分布型流出解析モデルの精度を検証した。高知県渡川水系では、独自の現地調査で得た森林の土壌保水力に関するパラメータを考慮し、さらに蛇行形状を定量化することにより精度良く流量を計算できた。また、近隣の森林蒸発散量観測データより、流出解析モデルで計算される蒸発散量も適切であることが確認された。岩手県湯田ダム流域では、降雪粒子の融解仮定を考慮した降水形態判別を行い、かつ近傍の高層気象観測からの気温データを参照することにより、融雪ピーク時の再現性が向上することを明らかにした。岐阜県郡上市では、観測流量を用いてパラメータを同定した流域における計算結果は、年間可能使用水量ベースでほぼ観測流量と同じになり、そのパラメータを近隣河川に適用した場合には、年間可能使用水量ベースで10%以内の誤差となった。以上の結果から、観測流量が近傍にあるが異なる流域の場合には、解析精度の目安として年間可能使用水量比0.9~1.1以内であることを推奨される。

分布型流出解析モデルによって得られた流量データを使い、付属のGISデータを使い発電所の位置と取水地点から落差を求めて発電電力量を得たのちに、発電所建設の導入コストと発電単価を計算できる水力発電事業評価モデルを開発した(図-1)。このモデルでは、長期運用時の売電収入や運用コストを評価しながら、資金回収年の評価も可能である。このモデルを岐阜県郡上市亀尾島川流域に適用し、設備を詳細に設計したものと比較した結果、建設費を13%低く算定し、発電単価はほぼ同等の結果となり、十分に実用的であることが確認できた。

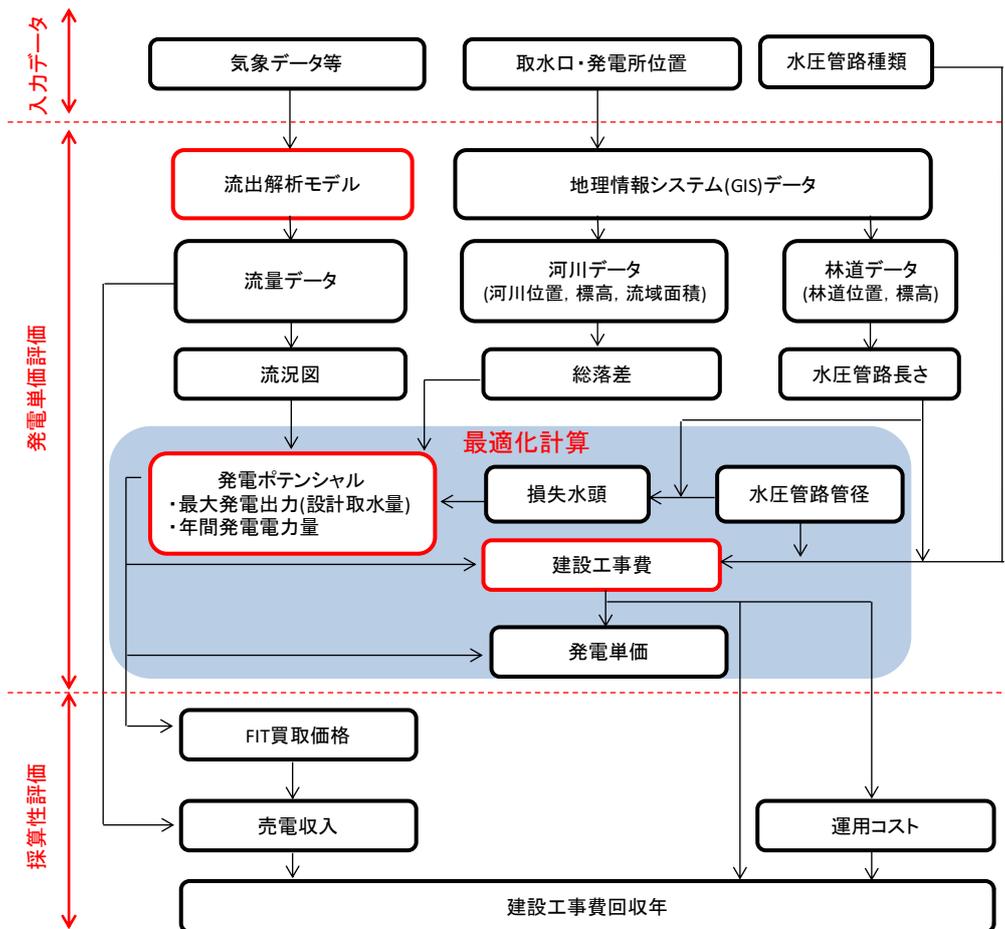


図1 水力発電事業評価モデルの計算フロー

水力発電の導入コストを低減させるための工夫として、水圧管に一般市販管を利用し、それを林道に敷設し、さらに既設砂防ダムを取水堰堤に利用するなどの低コスト化について検討を行った。岐阜県郡上市を対象にしたケースでは、導水路をトンネルを通し、水圧管に鉄管を使用した、いわゆる従来型を導入した場合には発電単価が 375 円となり、FIT 制度を活用しても建設資金は回収できない。これに対し、水圧管に一般市販管を利用してそれを林道に敷設した低コスト簡易型は、FIT 制度適用期限以内に建設資金を回収できる。砂防堰堤を利用せずに、取水堰を新設する場合の発電単価は 257 円、砂防堰堤を利用する場合は 235 円となり、一般市販管利用ほどの効果はないものの低コスト化に寄与する (図-2)。また、FIT 制度適用が除外となる導入 20 年以降については、運用を継続できるための売電価格が条件によって異なり、2015 年の市場平均価格である 9.5 円/kW では、発電単価が 170 円以内でないと事業継続が困難となる。気候特性が異なる全国 6 地点における検討においては、第 5.5 次発電水力調査で検討された地点を対象とし、導水路・水路延長が長くなる 1 地点を除き、低コスト簡易型の導入により発電単価が安くなることが示された。そのうち、冬季降水量が多く、融雪の多い地点においては、年による流量変動が小さく、発電単価が安くなる傾向となった。さらに、旭川・真加子地点では、月ごとの流量変動も小さく、安定した発電電力量を獲得できることから最も安い発電単価となった (図-3)。

植林や間伐等の実施が森林成長を介して林業経営収支に及ぼす影響を評価・検討できるモデルを構築し、3 つの経営シナリオを想定し、それぞれの事業収益の比較を行った。未造林地を新たに造林しながら積極的に皆伐・植林していくシナリオ 1 では、年に 70 人の雇用が創出されるが、多額の造林経費

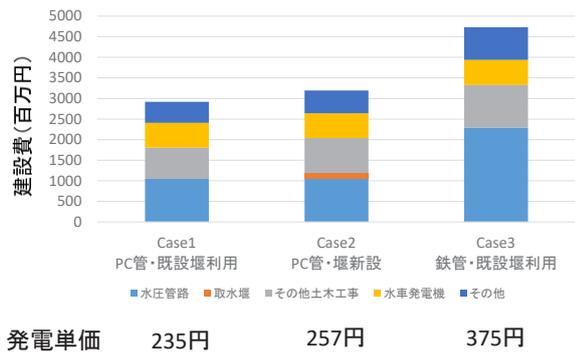


図2 低コスト簡易型と従来型による建設コストと発電単価

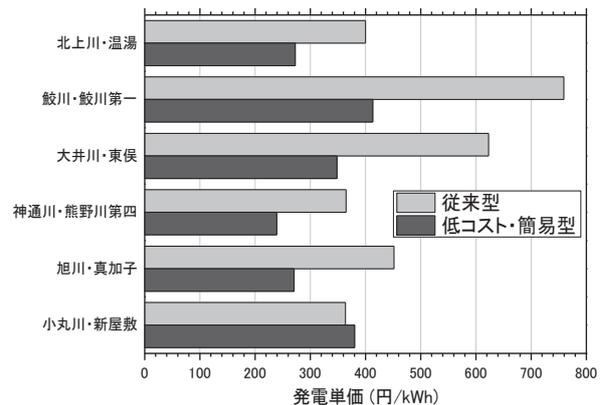


図3 全国6地点における発電単価

が必要となり、木材の販売費だけでは利益を確保することができず、造林作業に対する補助が必須である。間伐・択伐による非皆伐長期施業に誘導するシナリオ2では、年に40人ほどの雇用が創出され、補助金がなくても長期にわたって利益が見込める。間伐や伐採を行わずにそのまま放置するシナリオ3では、雇用も創出されず、林業利益も出ない。

林相や樹種が変わることによる降雨-流出過程に与える影響を流出解析モデルに反映させた。3つの経営シナリオにより、河川流出量や発電電力量の現状からの変化を求めたが、シナリオ1とシナリオ2については、流域を12に分割しての施業であり、流域全体の流量に与える影響はごく僅かな結果となった(図-4, 図-5)。売電利益よりも、林業が適切に実施されることにより、林道が維持され、それが発電所導入の際の物資運搬路として活用され、発電所を運用するときの保守・管理に活用できる効果が高い。林業を放棄するシナリオ3においては、林道が荒廃することも考えられ、その補修費用、場合によっては道路を新規に開設しなければならないため、導入コストや運用コストを押し上げることが予想される。

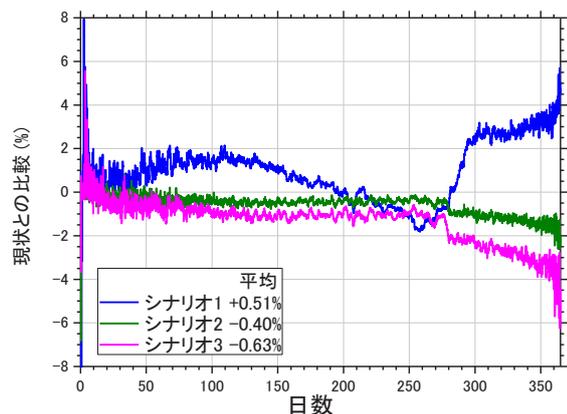


図4 林業経営シナリオによる現状からの流況変化

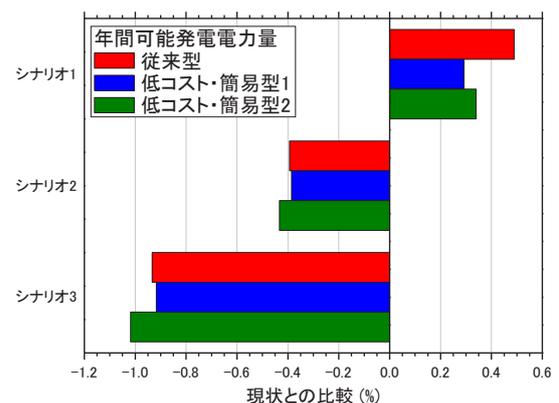


図5 林業経営シナリオによる現状からの年間可能発電電力量変化

本研究の成果は、水力発電の導入を促進させ、さらには国内の林業政策にも大きく貢献できるものとする。

# 論文審査結果の要旨

水力発電の導入は、太陽光や風力と比較すると現在進んでいない。その理由として、観測流量の不備や高額な建設コスト、長期間の資金回収などの問題があげられる。本研究は、流出解析モデルにより流況の計算を行い、小水力発電に必要な落差および発電設備等の導入コストの評価から発電単価を計算できる評価モデルを提案した。この評価モデルを用いて、一般市販管の利用や林業設備の活用によって低コスト化を図り、林業域での水力発電の事業成立性を評価した。

論文は全7章よりなる。

第1章は序論である。研究背景を述べ、水力発電導入の導入を妨げる流量データや水源地でもある林業域に関する問題点を示し、本論文の目的と構成を示している。

第2章は、数値シミュレーションによる流量データ作成の有効性を確認するため、高知県、岩手県、岐阜県を対象に分布型流出解析モデルの適用性について検討し、流量データ作成に必要な計算精度について考察を行った。

第3章は、流出解析とGISデータを活用し発電量を求め、さらには導入コスト、売電収入ならびに運用コストを推定する水力発電事業評価モデルを開発し、亀尾島川に適用した結果、詳細調査した結果とよい一致を得た。この成果は小水力発電を事前に定量評価できる極めて有用な成果である。

第4章では、砂防・林業設備を活用した低コスト簡易型水力発電の導入効果について検討を行った。低コスト簡易型は長期にわたり事業が成立する。気候特性が異なる全国6地点における検討において、積雪地域において発電単価が安く導入できることを明らかになった。これは小水力の可能性を地域別にみた重要な知見である。

第5章は、植林や間伐等の実施が森林成長を介して林業経営収支に及ぼす影響を評価・検討できるモデルを構築した。新規造林を行いながらの積極的な経営は国からの補助金によって黒字となり、択抜によって補助金がなくとも黒字経営となることが理解された。これは林業の持続的運営について極めて貴重な知見である。

第6章は、林相変化を反映できる流出解析モデルに改良した。積極的な造林や伐採を実施する林業経営シナリオによって発電量が若干増加することに加え、林道が適切に整備されるため、水力発電設備の維持管理に間接的に役立つと考えられた。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、流出解析モデルによる流量データの作成は十分に可能であることを示し、GISの活用によって精度よく発電量や導入コストを評価できる実用的なモデルを開発した。これを林業域に適用することにより、導入コストを大きく下げ、林業とともに水力発電の事業が成立することを示した。本研究の成果は、水力発電の導入を促進させ、さらには国内の林業政策にも大きく貢献できるものである。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。