

トリニティ川におけるRFIDを用いた砂礫の追跡による土砂還元事業の評価

Evaluation of Gravel Augmentation by Tracing Gravel Using Radio Frequency Identification (RFID) in the Trinity River

狩野幹太⁽¹⁾・David GAEUMAN⁽²⁾・角哲也・竹門康弘

Kanta KANO⁽¹⁾, David GAEUMAN⁽²⁾, Tetsuya SUMI and Yasuhiro TAKEMON

(1) 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻
(2) 米国水利再生利用局トリニティ川再生プログラム

(1) Department of Urban Management, Kyoto University
(2) Trinity River Restoration Program, U.S. Bureau of Reclamation

Synopsis

The Trinity River Division of the Central Valley Project has executed since 1964 and habitat for aquatic animals have received an adverse impact from the construction of dams and transport water from the Trinity River into the Sacramento River as a part of the project. The Trinity River Restoration Program has conducted various projects to implement recovery of the Trinity River and its fish population. The objective of this paper is to estimate the mobility of the riverbed materials by tracing gravel with Passive Integrated Transponder tags (PIT-tags gravel) using Radio Frequency Identification system and to evaluate by computing the 2-dimensional (2D) model calculation for riverbed variation. From the results of the survey, we could detect the PIT-tags gravel at most 460 m downstream from the gravel injection point (IP) when floods have occurred twice after gravel injection and there is a possibility that the area of 200-250m downstream from IP seems to have a potential to catch gravel and to be a sandbar in the near future. And also we need to discuss the requirement for suitable sandbar for aquatic animal's habitat from the view point of the function of sandbar as a next work. Applying this concept would give better insights into preferable gravel augmentation method.

キーワード: PIT-tag, RFID, 土砂還元, トリニティ川再生プログラム

Keywords: PIT-tag, RFID, gravel augmentation, Trinity River Restoration Program

1. はじめに

1.1 トリニティ川について

トリニティ川は、アメリカ合衆国、カリフォルニア州北西部を流れるクラマス川の最大の支流であり、北カリフォルニアに位置するスコットマウンテンに源を発する。Fig.1が示すように、流域のほとんどは山岳地域となっており、トリニティ川は溪谷を蛇行

しながら流れ、ノースフォークトリニティ川、並びにサウスフォークトリニティ川と合流した後、本川であるクラマス川に合流し太平洋に流れ込む。

トリニティ川の流域には、ユロク族やフーパバレー族などの先住民族が住んでおり、彼らは千年以上に渡ってチヌークサーモンやスチールヘッドといった遡上性を持つサケ科の魚を捕ることを生業としてきた[1].

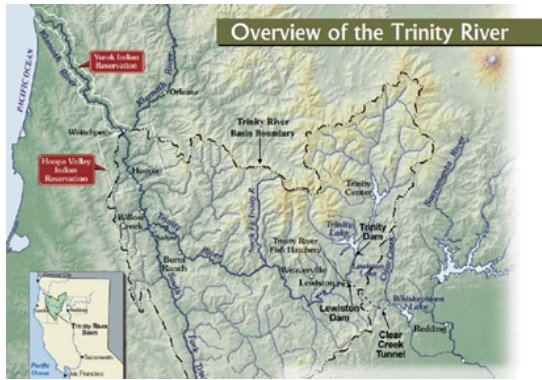


Fig.1 Basin of the Trinity River

しかし、1840年代にカリフォルニア州にゴールドラッシュが起こり、多くのアメリカ人がカリフォルニア州に金を求めて移住し先住民族との間に衝突が起きた[2]。その結果、1845年から1870年までの間に先住民族の人口がおおよそ15万人から3万人まで減少した[3]。また、トリニティ川の流域各地において金の採鉱が行われ、多くの金が河川の水を利用する水力採鉱で取り出された[4][5]。その際、大量の砂利と沈泥、並びに重金属や汚染物質が河川に流れ込んだ。加えて、金採鉱によって河床の地盤が露出し、河岸が削られた他、木材の大規模な伐採により、植生や魚類の生息場に多大な影響が及んだ[6]。その後、カリフォルニア州における金採鉱のブームは過ぎ去り、トリニティ川においても1950年代には、ほとんど採掘されなくなった。その頃には、自然生物の生息場は改善しつつあり、トリニティ川におけるサケやスチールヘッドの遡上数においても回復傾向にあった[7]。

しかし、The Trinity River Division of the Central Valley Project (TRD)の計画の一環として、1964年にトリニティ川の upstream にてトリニティダムとルイストンダムが完成し、魚類の産卵床に大きく寄与する粗い土砂(砂利や玉石など)が下流に供給されなくなった。また、ダムより上流に魚類が遡上することができなくなり、それは合計160キロ以上の生息環境と産卵場が失われたことを意味した[7]。加えて、1958年からトリニティ川の年間流量の最大90%がサクラメント川に輸送され始めた[8]。30191万m³の貯水容量を持つトリニティダムのすぐ下流にあるルイストンダムからクリアクリークトンネルが始まり、そこからトリニティ川の水をウイスキータウンダム湖に運んでいる。その後、スプリングクリークトンネルを通して、ケズウィックダムにてサクラメント川に合流する[9]。この輸送計画により、トリニティ川の攪乱機会が失われ河川地形の流動性が損なわれた。加えて、自然の状態と比べて放流量が小さいため、サケの生活史に必要な流量と水温が維持されなくなっ

た[7]。この一連の出来事によって、河川に生息する魚類の生息場が損なわれ、Trinity River Flow Evaluationによれば、トリニティ川を代表するサケ科であるチヌークサーモンの卵の推定数は、ダムが無かった年は年平均47600個であったが、ダムの建設以降では年平均11000個となり、年平均あたり77%減少したと報告されている[10]。

1.2 TRRPの実施事業

2000年、アメリカ政府はトリニティ川の環境と河川を生息場とするサケ科を代表とする魚類、並びにその他の自然生物の生息場を向上させるために、政府機関と先住民族団体を含めた8つの組織で構成されるTrinity River Restoration Program (以下、TRRP)を設立した。

TRRPが設立された同年、トリニティ川の調査を基に再生事業の基本方針となるthe Record of Decision (以下、ROD)が策定された。RODの中でTRRPの目指す目標が、次のように掲げられている。(1) 水生生物の良質な生息場を創出し、その生息場を維持できる自然の物理的プロセスを確立する。(2) ダムの建設によってダムより上流で失われた魚類の生息場を補償するために、ダムの下流に産卵床と生育環境を創出する[7]。

TRRPが土砂管理事業に重点的に取り組んでいる地域1つにローデンランチ地域が挙げられる。Fig.2に示すように、ローデンランチ地域はルイストンダムから約11.5kmに位置しており、ダムの建設によって土砂の供給量が大きく低下した背景があり、TRRPにおいてプロジェクトサイトとなっている。この地域では、2010年から土砂管理事業が継続的に実施されており、重機による掘削事業や土砂投入事業を行われてきた[11]。2016年の5月に実施された土砂投入事業では、この地域における土砂投入事業の効果を検証することを目的とし、投入された土砂がどこへ移動したのかを追跡し、経年的に移動履歴を追うことができるように、PIT-tagと呼ばれる受動型のICタグが埋め込まれた石礫が1000個混入された土砂が投入された。

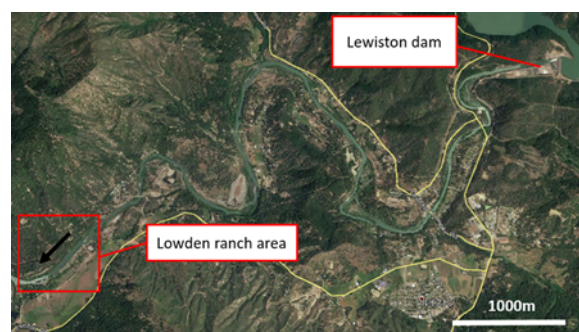


Fig.2 Location of the Lowden ranch area

1.3 研究の目的

TRRPでは、2000年以降、トリニティ川のサケの生息場を向上させるための土砂還元事業を全川的に継続して実施してきた。しかし、TRRPの土砂管理事業における課題点として、以下の二点が挙げられる。

(1) 土砂投入事業のサケの生息場改善効果を定量的に評価すること。(2) サケの生息場改善のための土砂投入手法の向上。

そこで本研究では、以下の二つを目的とする。

- (1) 2016年5月に実施された土砂投入事業によるサケの生息場改善効果を定量的に評価
- (2) 従来型の生息場評価法に加えて、砂礫の移動履歴に着目した評価法の試行

2. 研究対象

本研究の対象であるローデンランチ地域はルイストンダムから約11.5kmに位置しており、TRRPが重点的に土砂管理を行ってきた地域の一つである。川幅は約30~50mであり、河床材料の大きさの中央値を示すD50が55.3mmである。この地域では2010年から土砂管理事業が継続的に実施されており、2010年には、水生動物の生息場の質と多様性を向上させることを目的とし、2箇所ですべて人工的に掘削して側流路が造成された[12][13]。また、土砂投入事業が継続的に行われており、2011年に1570m³、2015年に520m³、2016年に1231m³の土砂が投入され、いずれも上流のダムの放流操作中に重機を使って河岸から投入されている[14]。

2.1 2016年5月に実施された土砂投入事業

2016年5月8日から13日にかけて、トリニティ川のローデンランチ地域において、重機を使って左岸側から合計1231m³の土砂が投入された (Table.1)。土砂の投入を実施した期間は常にダムの放流操作中であり、洪水時に直接河道に土砂を投入した。土砂が投入された地点はFig. 3に示す。投入された土砂は全て拳大の石礫で構成されており、その中には、アンテナを用いた調査によって追跡できるようにPIT-tagと呼ばれる受動型のICタグが埋め込まれた石礫が1000個混入されていた。ICタグが封入してある1000個の石礫については質量と粒径データがあ、平均質量は546.6g、平均粒径についてはx軸方向(長軸)、y軸方向、z軸方向(短軸)それぞれ、103.7mm、73.8mm、44.7mmとなっており、y軸方向を平均粒径サイズとみなすと73.8mmは現地の粒径分布のD65に相当した。(Fig.4 は実際にPIT-tagを封入した石礫のサンプルである。)

Table.1 Total amount of gravel (*1: Including PIT-tag gravel and other gravel injected)

Gravel injection	5/8/2016	5/9/2016	5/12/2016	5/13/2016	Total
Total amount of gravel*1	306m ³	306m ³	306m ³	313m ³	1231m ³
Total number of PIT-tag gravel	240	280	240	240	1000 PIT-tag gravel

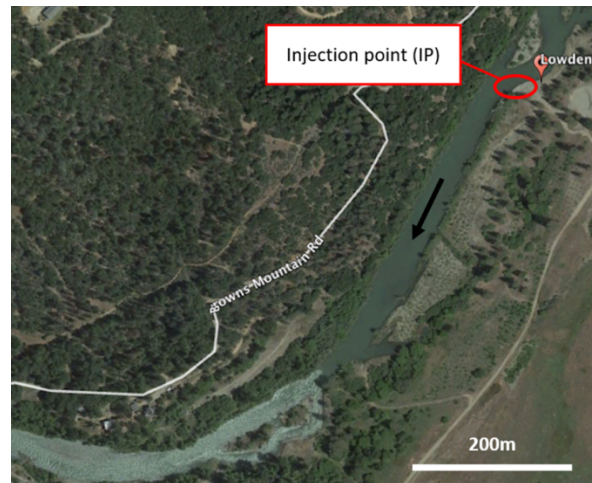


Fig.3 Location of the injection point (IP in the rest of this paper)

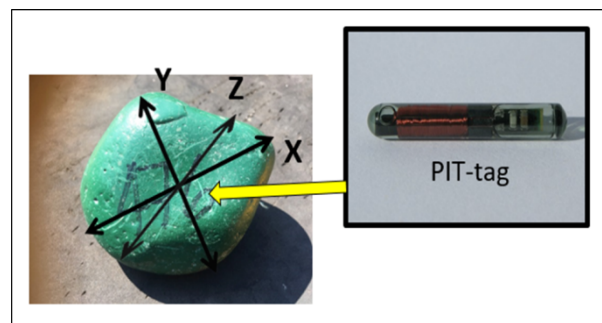


Fig.4 Sample gravel containing PIT-tag

3. 石礫の移動履歴調査

2016年5月にローデンランチ地域で投入された土砂に含まれていた1000個のPIT-tagを追跡する調査が2016年と2017年に合わせて2回実施された。調査には、Radio Frequency Identification (以下、RFID)を用いたアンテナを使用した。本章では、調査の概要と結果について論じる。

3.1 RFIDの原理の説明

RFIDとは無線周波数を使用した個体識別という意味で、JISでは、「誘導電磁界又は電波によって、非接触で半導体メモリのデータを読み出し、書き込みのための近距離通信を行うものの総称。」と定義されている。今回追跡したPIT-tagは受動型のICタグであり、内部にICチップとコイルが入っており、検出器を近づけることでID情報が読み取れる個体識別用標識である。Fig. 5のRFIDとPIT-tagの反応システムが示すように、電力をアンテナに供給することでアンテナから磁界が発生し、PIT-tagが磁界に共振することで内部に電力が発生し、読み取り機にPIT-tagのID情報を読み取ることができる。

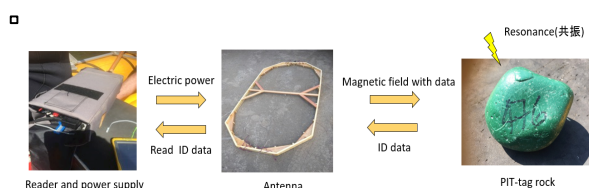


Fig.5 Interaction system between RFID and PIT-tag

調査に使用したアンテナとPIT-tagの検知できる距離をFig. 6に示す。アンテナの中心が最も検知する距離が大きく上下にそれぞれ約135cmまで反応する。長軸の端では上下に約60cm、短軸の端では上下に約75cm、アンテナの中心と長軸の端の midpoint では上下に120cmの範囲でPIT-tagを検知できる。また、アンテナが発する磁界は同心円状になっており、PIT-tagを検知できる範囲はFig. 7が示すように同心円状になっている。

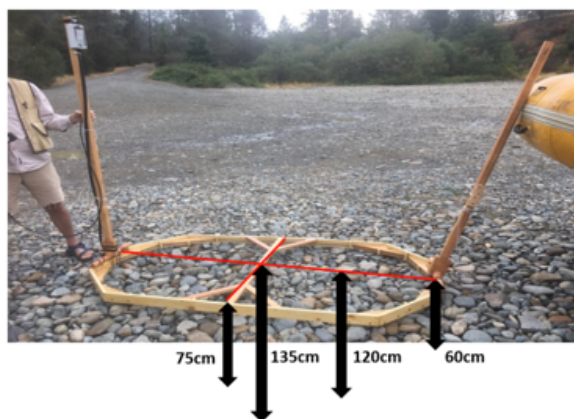


Fig. 6 Detection range of the antenna

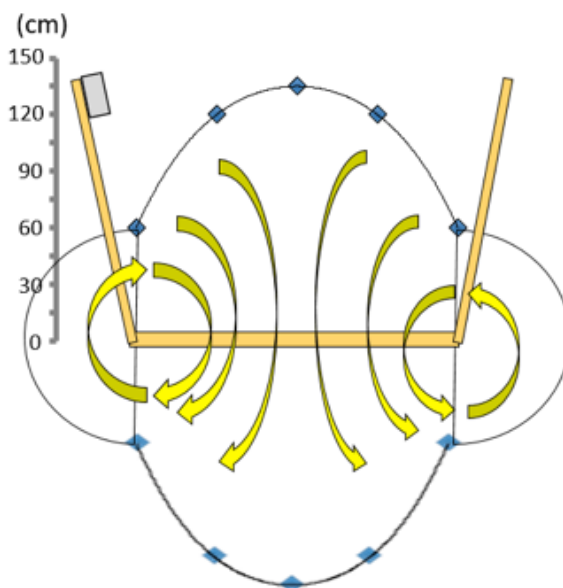


Fig. 7 Reaction zone around the antenna

3.2 現地調査について

2016年5月にローデンランチ地域で投入された土砂に含まれていた1000個のPIT-tagを追跡する調査が2016年の10月と2017年の9月から10月に行われた。2016年の調査はTRRPによって実施されており、本項では、筆者らが実施した2017年度の調査について説明する。

調査は2017年の9月から10月にかけて行い、いずれの日程も平水時であり、おおよそ9時から16時の間に実施された。Fig. 8に上流のダムで記録された2015年10月から2017年10月までの流量グラフとそれに対応する調査期間を示す。

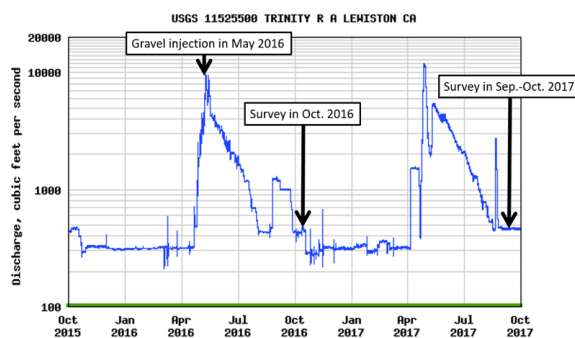


Fig. 8 Flood history of the Trinity River measured at Lewiston dam (Oct. 2015-Oct.2017)

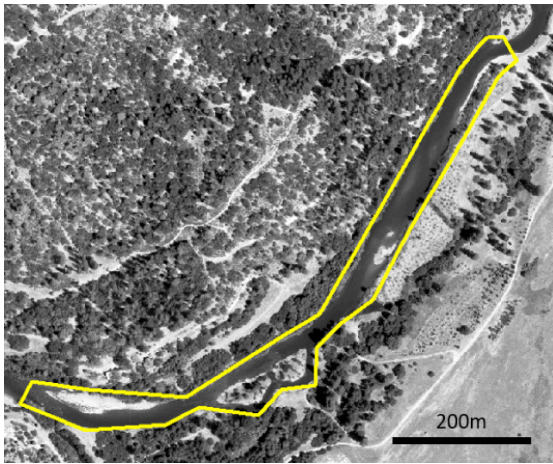


Fig. 9 Field survey area at the Lowden ranch area

調査は土砂を投入した地点から下流に向かって網羅的に行った。土砂の投入地点からどこまで下流までを調査範囲にするのかという問いに対しては、実際に調査してみないことには判断することが難しいため、検知されるPIT-tagがほぼ検知されなくなった地点からさらに下流数百メートルまでを調査範囲とした。最終的に調査を行った範囲はFig. 9に示している。

3.3 調査結果

(1) 2016年10月の調査結果

投入されたPIT-tagが封入された石礫1000個のうち、729個が検知され、検知率は72.9%であった。Fig. 10は、検知された729個のPIT-tagの分布を示しており、最も下流で検知されたPIT-tagは土砂の投入地点から約295m下流であった。また、土砂の投入

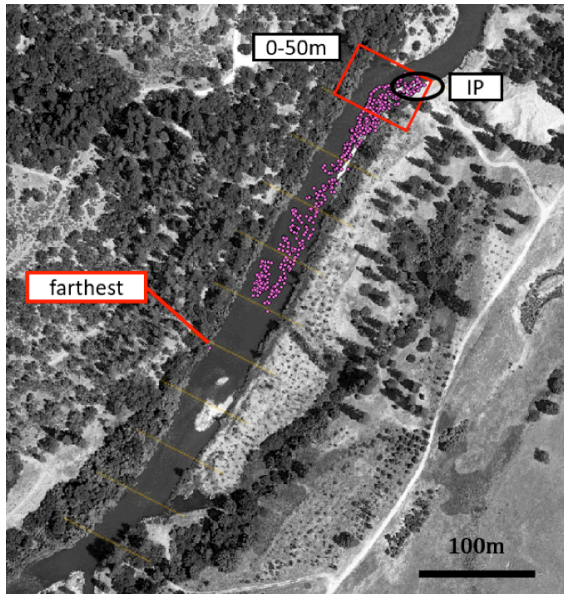


Fig. 10 Place of the PIT-tag gravel (result of field survey in 2016)

Table 2 Distribution of PIT-tag gravel detected (result of field survey in 2016)

Distance from IP (m)	0-50m	50-100m	100-150m	150-200m	200-250m	250-300m	300-350m	350-400m	400-450m	450-500m
Number of the gravel (-)	200	199	148	81	100	1	-	-	-	-
Percentage of the total (%)	27.4	27.3	20.3	11.1	13.7	0.1	-	-	-	-

地点から下流に向かって50m毎の区間に区切り、各区間で検知されたPIT-tagの数えたところ、土砂の投入地点から0から50m下流の区間で最も多くのPIT-tagが検知されており、その数は200個であった。Table 2に各50m区間で検知されたPIT-tagの数を示す。

(2) 2017年9月～10月の調査結果

投入されたPIT-tagが封入された石礫1000個のうち、790個が検知され、検知率は79.0%であった。Fig. 11は、検知された790個のPIT-tagの分布を示しており、最も下流で検知されたPIT-tagは土砂の投入地点から約440m下流であった。また、土砂の投入地点から下流に向かって50m毎の区間に区切り、各区間で検知されたPIT-tagの数えたところ、土砂の投入地点から200から250m下流の区間で最も多くのPIT-tagが検知されており、その数は237個であった。Table 3に各50m区間で検知されたPIT-tagの数を示す。

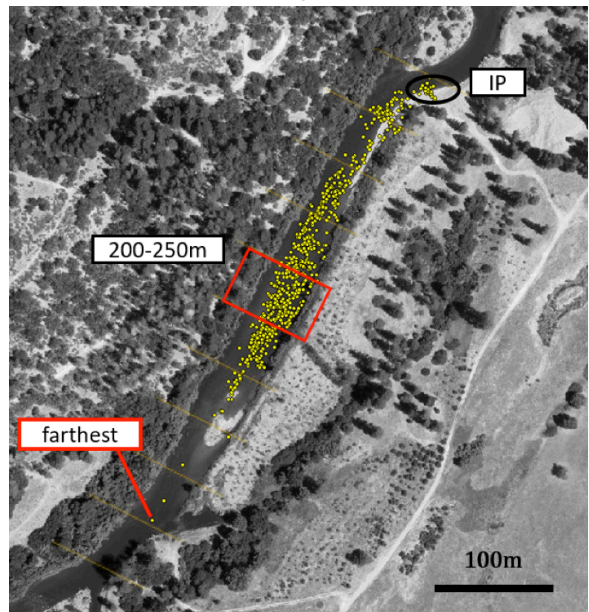


Fig. 11 Place of the PIT-tag gravel (result of field survey in 2017)

Table 3 Distribution of PIT-tag gravel detected (result of field survey in 2017)

Distance from IP (m)	0-50m	50-100m	100-150m	150-200m	200-250m	250-300m	300-350m	350-400m	400-450m	450-500m
Number of the gravel	69	53	103	160	237	143	22	1	2	-
Percentage of the total (%)	8.7	6.7	13	20.3	30	18.1	2.8	0.1	0.3	-

4. 土砂投入事業による生息場の変化

本章では、(1) 2016年5月に実施された土砂投入事業によるサケの生息場改善効果の定量的評価、(2) 従来型の生息場評価法に加えて、砂礫の移動履歴に着目した評価法の施行を目的とし、第3章の石礫の移動履歴の調査結果に加えて、河床変動計算によって出力された地形データ、並びに現地の各種データを用いて分析を行った。本章においては、トリニティ川で最大の遡上数が確認されており TRRPにおける主要対象魚種の一種であるChinook Salmonを生息場としての好適性を評価する指標として採用した。また、Chinook Salmonの産卵床に関しては、TRRPのためのトリニティ川の事前調査の結果を報告している TRFE (1999) に豊富なデータがある。そこで、本章ではChinook Salmonの産卵床としての好適性を生息場評価の指標とし、分析を行った。

4.1 河床変動計算による地形データの出力

トリニティ川のローデンランチ地域における魚類の生息場の好適性の評価において、土砂投入事業の効果を検証するために、土砂を投入したケースと投入しなかったケースのそれぞれにおいて生息場の好適性を評価する必要がある。そこで、本章では土砂投入事業前の2015年7月（2015年出水後）に in-channel multibeam sonar を用いて測量したローデンランチ地域の地形データをもとに二次元河床変動計算を行い、土砂投入事業を実施しなかったケースにおける地形データを出力した。地形データを出力するための計算にはiRICソフトウェアのMflow_02という解析ソルバーを用いた。

4.1.1 計算条件

計算の初期地形には、2016年5月の土砂投入前の2016年7月の平水期の地形を使用した。今回使用した地形は2015年の出水期間後に測量されたものであり、河床地形に対してはマルチビームソナー（ICMS：in-channel multibeam sonar）が使用され、陸域に対しては航空ライダー（AL：Aerial Light Detection and Ranging）が使用された。

Fig. 12は計算の対象となった出水を示しており、計算期間は2016年においては5月8日から5月16日までの9日間、2017年では4月25日から5月1日までの7日間とした。2016年の出水では最大約249 m³ (8800 ft³) を記録し、2017年度はそれを上回る最大約328 m³ (11600 ft³) を記録しており、例年に比べて大きい値であった。

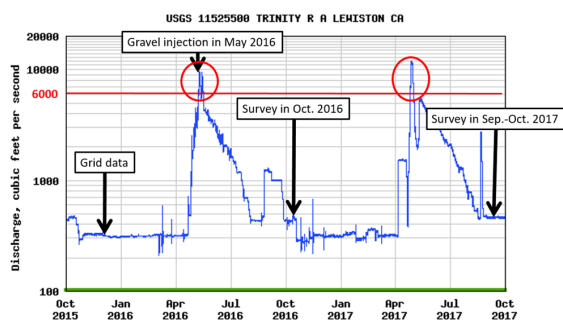


Fig. 12 Target discharge for calculation

計算格子については、低水路内を高水敷より細かくに設定し、三角型格子の一片の長さが低水路内では約2mから4m、高水敷内では約2mから6mに収まるようにした。計算のタイムステップに関しては基本的に0.10秒に設定をし、計算が上手くできない期間においては0.05秒まで細かくして調整を行った。

4.2 2016年5月に実施された土砂投入事業によるChinook Salmonの生息場改善効果の定量的評価

4.2.1 Chinook Salmonの産卵床としての好適性の分析手法

本節では、ローデンランチ地域におけるChinook Salmonの生息場の好適性を、各種物理データ（水深、流速、河床材料）を用いて評価した。分析には、Habitat Suitability Index(以下、HSI)値を用いた。HSI値は各種物理データにおけるSuitability Index(以下、SI)値を用いて平均算術法によって計算され、水深、流速、平均粒径のSI値をそれぞれ水深SI値、流速SI値、平均粒径SI値とすると、全てのSI値を足して3で除したものをHSI値としている。積法によってHSI値を算出した場合、水深の浅い瀬などでは水深SIや流速SIが0に近い状況においてはHSI値が極端に小さくなってしまいうため、今回は平均算術法を採用している。また、各種物理データにおけるSI曲線は、TRFE内で報告されている現地産卵床データをカーネル化し作成した。

分析対象範囲は、2017年の石礫追跡調査において最下流でPIT-tagが検知された土砂投入地点から440 m下流までとし、かつ、平水流量においてChinook Salmonの産卵床として機能し得る河道内とした。

4.2.2 分析結果

本節では、Chinook Salmonの産卵床としての好適性を、2016年5月の土砂投入事業前と、2016年の出水後、並びに2017年の出水後の3つの時期において分析を行い、各時期の変化を検証した。今回の分析に用いた地形データは、河道内には2016年の土砂投入事業前（2015年7月：2015年の出水後）、2016年出水後

(2016年8月), 2017年出水後(2017年8月)に実施されたin-channel multibeam sonar (ICMS) による地形調査の結果を用い, 河道外においては2016年8月に実施されたaerial LiDAR (AL) による地形調査の結果を用いた。

分析範囲内における水深SI値, 流速SI値, 平均粒径SI値の平均値の変化をFig.13に示す。2016年に土砂を投入して以降, 全てのSI値が増加しており, 水深SIは一時直線的に増加し, 流速SIは2017年の出水によって大きく増加し, 平均粒径SI値は2016年の出水によって大きく増加したことが分かる。また, 分析範囲内におけるHSI値の平均値について比較してみると, 土砂投入事業後, 2016年と2017年のそれぞれの出水によって, 値が増加していることがわかった。

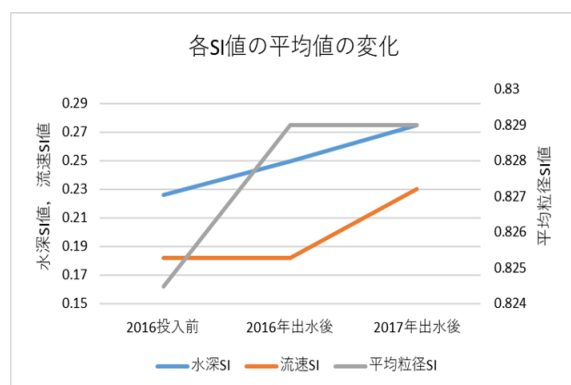


Fig.13 Change of average value of each SI value

4.2.3 土砂投入事業有無による Chinook Salmonの生息場改善効果の検討

前節の分析によって, 土砂投入事業後に各種SI値, 並びにHSI値が増加したことが分かったが, 土砂投入事業が実際に寄与した程度については不透明である。そこで, 二次元河床変動計算を用いて土砂投入事業を実施しなかったケースについて計算し, 出力した2017年出水後の地形データに対し, 各メッシュにおける各種SI値, 並びにHSI値を求め, 分析範囲内における平均HSI値を求めた。その結果をFig.14に示す。2017年の出水後のHSI値の平均値は, 土砂投入事業を実施しなかったケースの方が土砂投入事業を実施したケースよりも小さく, 土砂投入事業がHSI値の増加に寄与していたことが明らかになった。

4.3 従来型の生息場評価法に加えて砂礫の移動履歴に着目した評価法の施行

本節では, ArcGISを用いて, 第3章のPIT-tagの追跡

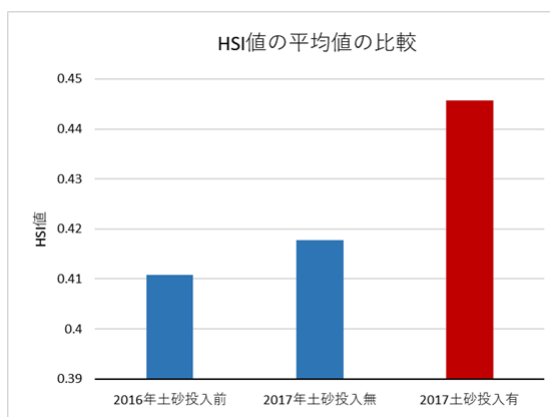


Fig. 14 Comparison of average value of HSI value

調査の結果を地形データに入力し, PIT-tagの移動履歴と地形の変化, 生息場の好適性の変化の関係性を明らかにし, 生息場の変化を時系列的に分析した。

4.3.1 分析対象区間

分析対象区間は, 土砂投入地点から約230mから330m下流に位置する約100mとした。この区間は, 2016年5月土砂投入前においては淵一瀬一淵の特徴的な河川形態を持っており, Chinook Salmonの産卵床としての好適性の大きな変化が期待できる。加えて, 石礫追跡調査の結果に関して, 2016年, 2017年ともに区間全域においてPIT-tagが検知されているため, PIT-tagの移動履歴を分析項目として採り入れることができる。

分析にはArcGISを用い, Fig.15に示すように6m×6mに区切ったメッシュを基本単位とした上で, 上流から下流に向かって横断方向に6mごとに区切り, 平行四辺形状のユニットを14つ作成し, 上流方向から下流方向に向かって各平行四辺形ユニットに1から14の番号を振った。

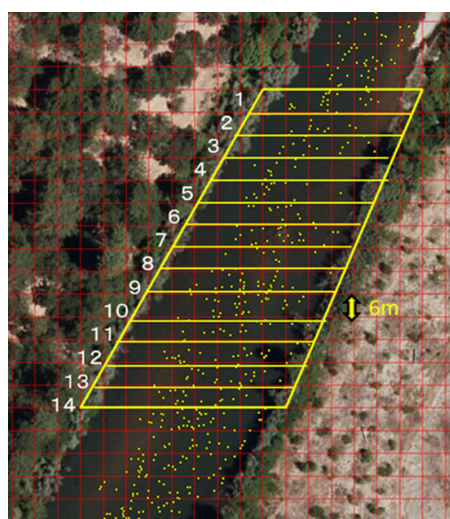


Fig.15 14 parallelogram units for analysis

次に各メッシュにおいて、水深、流速、河床材料を各地形データ（河道においては2016年の土砂投入事業前（2015年7月：2015年の出水後）、2016年出水後（2016年月）、2017年出水後（2017年8月）に実施されたin-channel multibeam sonar (ICMS) 測量調査の結果を用い、河道外においては2016年8月に実施されたaerial LiDAR (AL) 測量調査の結果を用いた。）を用いて求めた。続いて、水深、流速、河床材料の平均粒径のポイントデータを平均化したものを各メッシュの代表値とし、SI曲線を用いその代表値に対応したSI値を求め、HSI値を算出した。また、石礫追跡調査の結果についても各メッシュ内にプロットし、各メッシュのサイズで割り、単位面積当たりに検知されたPIT-tagの数を求めた。さらに、それぞれのPIT-tagが前年の出水によって掃流されてきた入ってきた距離と、翌年の出水によって掃流されて出て行った距離を算出した。各分析値は6m×6mメッシュ単位で算出し、各平行四辺形ユニットごとの平均値を求めた。

4.3.2 分析結果

河床高の分析結果をFig.16に示す。ユニット6、7（瀬）においては河床高が低くなる傾向があったが、ユニット3～5（淵）とユニット8～14（淵）では、2016年の出水後に低くなり、2017年の出水後に高くなっている。

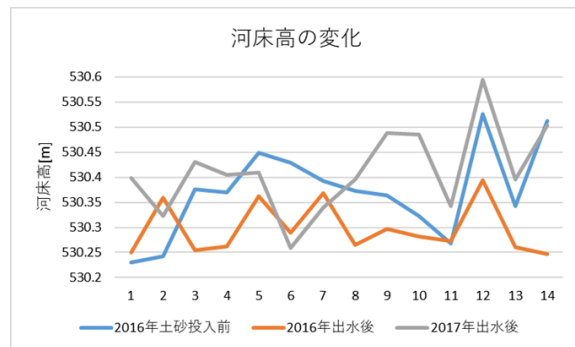


Fig. 16 Change of riverbed level

HSI値の分析結果をFig.17に示す。ユニット6～9（瀬）でどの時期においても他のユニット（淵）と比べて大きな値をとっていた。しかし、出水を経るごとにユニット間のHSI値の格差が小さくなっていることが分かる。各種SI値についてみると、水深SI値に関しては、ユニット5～8（瀬）でどの時期においても他のユニット（淵）と比べて大きな値をとっていた。しかし、ユニット5～7（瀬）では、2016年の出水後に小さくなっており、出水を経るごとにユニット間の水深SI値の格差が小さくなっていることが

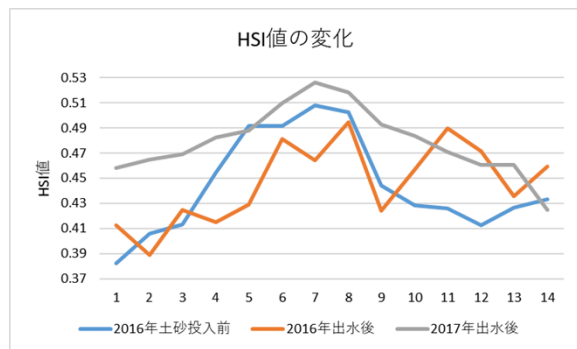


Fig. 17 Change of HSI value

分かる。流速SI値に関しては、どの時期においてもユニット間で大きな違いは見られないが、2017年の出水後に大きくなったことが分かる。平均粒径SI値に関しては、どの時期においてもユニット間での違いはなく、出水によってSI値が大きくなることはなかった。これは、平均粒径に関する現地のデータが少ないことに起因すると考えられ、より多くの現地データを用意することが求められる。

次に単位面積辺りのPIT-tagの数をFig.18に示す。ユニット7以降（下流側）では、2016年の出水後と比べて2017年の出水後の方がPIT-tagの数が大きくなっていた。すなわち、土砂投入事業により投入された土砂の堆積量が増加したことを示しており、これは河床高の変化（Fig.16）の結果とも整合する。

また、各PIT-tagにおいて、入ってきた際の掃流距離と、出て行った際の掃流距離を各ユニット毎に比較した。入ってきた際の掃流距離に関してはユニットごとに大きな違いはなかったが、出て行った際の掃流距離に関してはユニットごとに違いが見られた。出て行った際の掃流距離について、詳しく見てみると、ユニット8（瀬）では2016年、2017年の出水いづれにおいても大きな値をとっている。また、ユニット6～14では2016年の出水より掃流距離より2017年の出水による掃流距離の方が大きくなっている。

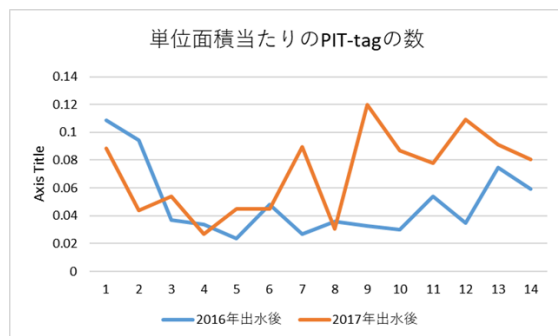


Fig.18 Number of PIT-tags per unit area

5. 結論

本研究では、ローデンランチ地域を対象に、2016年5月に実施された土砂投入事業がChinook Salmonの産卵床としての生息場にどのような影響を与えているのか分析してきた。

PIT-tagの埋め込んだ石礫の追跡調査では、2016年は土砂の投入地点から0mから50m下流の区間で、2017年では200mから250m下流の区間で、最も多くのPIT-tagが検知されたことが分かった。PIT-tagの追跡調査を今後も継続して調査を行うことによって、さらなる議論を重ねることができると考えられる。

2016年5月に実施された土砂投入事業によるChinook Salmonの生息場改善効果の定量的評価に関しては、土砂投入地点から440m下流までの分析範囲において、2016年に土砂を投入して以降、全てのSI値が増加しており、HSI値に関しても2016年と2017年のそれぞれの出水によって、増加していることがわかった。また、HSI値を比較すると、土砂投入事業がHSI値の増加に寄与していた。

従来型の生息場評価法に加えた、砂礫の移動履歴に着目した評価法の施行に関しては、水深SI値とHSI値については、瀬の環境において、他の環境と比べて大きな値をとっていた。各メッシュ内で検知されたPIT-tagの入ってきた際の掃流距離と、出て行った際の掃流距離を分析したところ、入ってきた際の掃流距離に関しては地点ごとに大きな違いはなかったが、出て行った際の掃流距離に関しては地点ごとに違いが見られた。また、2016年の出水による掃流距離より2017年の出水による掃流距離の方が大きくなっていることから、将来的にはこの地点の掃流する距離が大きくなり、瀬に近い河川形態ができる可能性がある。

PIT-tagを追跡することで、瀬の直下の淵に上流からの投入した土砂がたまっていき瀬に近い環境ができる可能性があることがわかった。それに伴い、淵のHSI値が増加していくことが明らかになった。

今後、PIT-tagの追跡年数が増えるにしたがって、より詳細の議論までできるようになると思われる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、研究室の先生方、学生には多大なるご助力を頂いた。ここに感謝の意を表す。また、米国カリフォルニア州Trinity River Restoration Program Officeのメンバーとその関係者には多大なるご協力を頂いた。特にCaryn Hunt DeCarlo氏、David Gaeuman氏には格別の感謝の意を表す。

参考文献

- California Department of Parks and Recreation, (Online) Available: Trinity Alps Gold Rush, https://www.parks.ca.gov/?page_id=21333
- Eric A. Stene, (1996): Trinity Division Central Valley Project
- Gaeuman D. and Boyce J., (2018): Effects of gravel supply on gravel bar morphology and physical habitat in a reach of the Trinity River, California, USA
- Gaeuman, D., Stewart, R., Schmandt, B., and Pryor, C., (2017): Geomorphic response to gravel augmentation and high-flow dam release in the Trinity River, California
- Gregg Wilkerson and David Lawler, (2006): Roadside geology and mining history of the mother lode
- James J. Rawls and Richard J. Orsi, (1999): A Golden State, Mining and Economic Development in Gold Rush California
- J.S. Holiday, (1999): Rush for Riches
- Ock, G. and Kondolf, G. M., (2012): Assessment of Ecological Roles of Gravel Bar Features Restored by Gravel Augmentation and Channel Rehabilitation Activities below Lewiston Dam in the Trinity River, California, USBR Science and Technology Program Scoping Report
- Ock, G., Gaeuman, D., McSloy, J. and Kondolf, G. M., (2015): Ecological functions of restored gravel bars, the Trinity River, California. Ecology of England vol. 83
- Robert F. Heizer, (1974): The destruction of California Indians
- Trinity River Restoration Program, (Online): What is the TRD
- U. S. Bureau of Reclamation Trinity River Restoration Program, (2000): Summary of the United States Secretary of the Interior Record of Decision, December 19
- U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, (2017): Mid-Pacific Region, Trinity River Restoration Program
- U.S. Fish and Wildlife Service and Hoopa Valley Tribe, (1999): Trinity River Flow Evaluation

(論文受理日：2019年6月17日)