

電磁流速計を用いた桂川の流速調査

小林 彩美¹⁾・中野 英之¹⁾・村上 忠幸¹⁾

Measurements of stream velocity of Katsura-gawa River using the electromagnetic velocity meter

Ayami KOBAYASHI, Hideyuki NAKANO and Tadayuki MURAKAMI

抄録：多くの教科書や指導書では、河川の流は上流部と蛇行部の外側で流速が大きくなると記載されていることが多い。本研究ではこの点を確認するため、桂川の上流・中流・下流の複数の調査箇所にて電磁流速計を用いた流速の測定を行った。調査の結果、中流部や蛇行部の内側で流速が大きく箇所が見つかるなど、実際の河川の流は複雑であり、河川の流を一義的に説明することは困難であることが分かった。

キーワード：流れる水のはたらき、桂川、流速、電磁流速計

I. はじめに

小学5年生理科のB領域「生命・地球」では、「流れる水のはたらき」の単元を学習する。学習指導要領（文部科学省，2008）では、この単元について以下のように触れられている。

(3) 地面を流れる水や川の様子を観察し、流れる水の速さや量による働きの違いを調べ、流れる水の働きと土地の変化の関係についての考えをもつことができるようにする。
 ア 流れる水には、土地を浸食したり、石や土などを運搬したり堆積させたりする働きがあること。
 イ 川の上流と下流によって、川原の石の大きさや形に違いがあること。
 ウ 雨の降り方によって、流れる水の速さや水量が変わり、増水により土地の様子が大きく変化する場合があること。

また、本単元を扱うときの留意点として、「野外での直接観察のほか、適宜、人工の流れをつくったモデル実験を取り入れて、流れる水の働きについての理解の充実に図ることが考えられる」記されている。教育現場では砂山を用いた流水実験が行われていることが多いようである。

筆頭著者の小林は、「流れる水のはたらき」の単元を教育実習で担当する機会を得て、教科書に載っている砂山の流水実験を行いたいと考えて実験を試みた。流水実験では、川の蛇行部の内外での流速の違いや、外側での浸食、内側での堆積といった現象が見られると教科書に記載されている。しかし、予備実験を試みた際、何度水を流しても見たい現象が上手く見られな

1) 京都教育大学教育学部

い事態に遭遇した。「砂場の砂が悪いのか、水の流し方はどうか、傾斜が急すぎるのでは」など条件を変えては実験を試みたが、どの方法でも見たい現象をはっきり確認することができなかった。実際の教育現場においてもこのような例が報告されている（林，2004）。流水モデルで実際の河川の流れを再現できないのは、流水モデルと実際の河川とでは流体のレイノルズ数が大きく異なっていることが原因であることが指摘されている（林，2004）。

教育実習を通して、自分自身が川の流れそのものを知らないことに気がつき、文献等を調査していくうちに、当然のことのように一般的に信じられており、教科書やその他の指導書等にも記載されている以下の川の流れの特徴について、実際に調査を行って確かめてみたいと考えようになった。

1. 蛇行している河川は内側よりも外側で流れが速い
2. 川の流れは下流，中流，上流の順に速くなる

蛇行している河川は内側よりも外側で流れが速いこと、川の流れは上流ほど速いことは多くの教科書や参考書等で示されている。小学校 5 年理科の教科書（吉川ほか，2011）では、「曲がって流れているところでは、外側は水の流れが速く、（中略）内側は水の流れがゆるやかで」、*「山の中は流れが速く、（中略）海や湖の近くは流れが遅い」*と示されているし、学習参考書においても「流速が大きいのは上流で、流速はカーブの外側ほど流速が速い」（中学入試問題研究会，2002）ことが示されている。各種の指導書においても、「蛇行している川の内側よりも外側は流れが速い」（田中，2012）、「曲流の所では、外側の方が速い」（歌代・倉橋，1982）とあり、河川学の専門書（野満，1976）においても、「流速は同じ川でも場所によって違い上流に速く下流に遅く、（中略）最大流速は河道が真直な所ではその中央線上に、彎曲した河道では凹岸に近い所にある」と示されている。動画の学習サイトである NHK for School (<http://www.nhk.or.jp/school/>) においても「水の流れる速さは、上流から下流に向かうほどゆるやかになっていく」ことが紹介されている。

本稿では、桂川をフィールドとした電磁流速計を用いた河川の流速の測定を通し、上記 2 点について明らかにすることを目的としている。

Ⅱ. 桂川の流速測定

2.1 桂川と各調査地点

桂川は、京都府京都市左京区広河原と南丹市美山町佐々里の境に位置する佐々里峠に発する（図 1）。左京区広河原、左京区花脊を南流するが、花脊南部で流れを西へと大きく変える。京都市右京区京北を東西に横断し、南丹市日吉町の世木ダム、日吉ダムを經由、以降は亀岡盆地へと南流する。亀岡市の中央部を縦断し、保津峡を南東に流れ、嵐山で京都盆地に出て南流、伏見区で鴨川を併せ、大阪府との境で木津川、宇治川と合流し淀川となる。本研究では、桂川の上流、中流、下流の蛇行部と直線部および早瀬の 9 地点において電磁流速計を用いた河川の流速測定を行った。

調査場所①は京都市左京区花脊八槻町の桂川上流部であり、川幅の広い直線部（①A）、川

の中央に大きな岩がある直線部（①B），およびポイントバーのある蛇行部（①C）の3箇所で流速の測定を行った。調査場所②は京都市右京区京北井戸町の桂川上流部であり，調査地点①の約10 km 下流に位置している。調査場所②はポイントバーのある蛇行部（②A），中洲のある直線部（②B），および②Bの約10 m 下流にある早瀬の3箇所で流速の測定を行った。調査場所③は南丹市八木町北広瀬の桂川中流部のポイントバーのある蛇行部，調査場所④は京都市右京区梅津大縄場町の桂川中流部の直線部である。調査場所⑤は京都市伏見区横大路中ノ島町の桂川下流部のポイントバーのある蛇行部である（表1，図1）。なお，調査は全て低水位時に行った。

表1 調査場所

調査場所				調査日	
上流	①	A	直線部	京都市左京区花脊八桝町	2011年11月1日
		B	直線部		2011年11月2日
		C	蛇行部		2011年11月8日
	②	A	蛇行部	京都市右京区京北井戸町	2011年12月16日
		B	直線部		2011年12月16日
		C	早瀬		2011年12月16日
中流	③	蛇行部	南丹市八木町北広瀬	2011年12月19日	
	④	直線部	京都市右京区梅津大縄場町	2011年11月14日	
下流	⑤	蛇行部	京都市伏見区横大路中ノ島町	2011年12月28日	

2.2 測定方法

河川の流速の測定は，JFEアレック株式会社製 AEM1-D を用いて行った。測定する河川の両端にメジャーを渡し，川幅 0.5～2.0 m，深さ 10～20 cm 毎の流速を測定した。また，長尺で水深を測定した。流速は 20 秒平均の値を採用した。川底が深く立ち入ることのできない測定場所の一部はゴムボート上より測定を行った。

2.3 測定結果

図2～10に9箇所の測定ポイントの横断面流速分布を示す。流速の速さを黒丸の大きさで示しており，丸が大きくなるほど流速が速いことを示している。白抜き丸は流れの逆流を示している。また，0 m 地点は右岸側を示

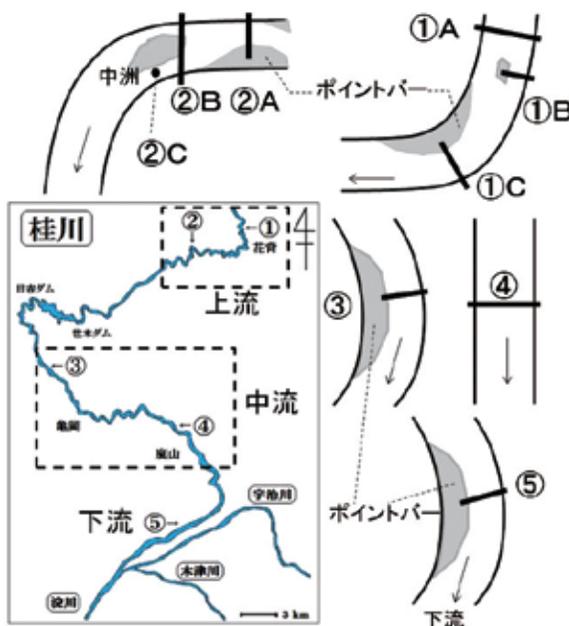


図1 桂川と調査場所

している。

2.3.1 上流 (① A 直線部)

水深が最大でも 40 cm 程度と浅く、流れは最大でも 0.764m/s と緩やかであった。表層部と河床から突き出している大きな石の周辺で比較的大きな流速が観測された (図 2)。

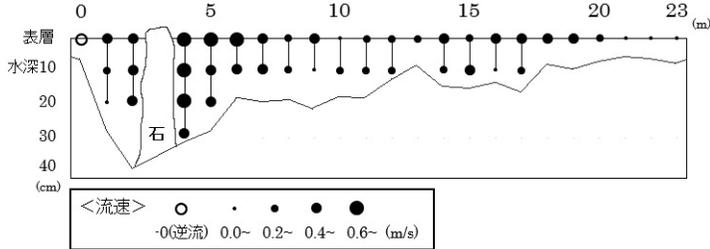


図 2 ① A 直線部の横断面流速分布

2.3.2 上流 (① B 直線部)

水深が浅い左岸部の広い領域で水の逆流が観測された。右岸に向かって河床が深くなるほど流速は大きくなり、石の周辺の表層部で最も高い流速 (最大で 1.204 m/s) が観測された。河川中央部にある石から 1.0 ~ 1.4 m 地点付近では表層よりも水深が深い場所ほど速く、石の近くでは表層ほど流速が大きいことが分かった。流れの速い地点でも河床部は流れが非常に緩やかである。なお、① B 地点における 0 m 地点は河川中央で河床から水面に突き出している石の左岸側の縁を示している (図 3)。

2.3.3 上流 (① C 蛇行部)

蛇行部の内側のポイントバー側は流速値がほぼ 0 m/s で、内部では逆流も見られた。蛇行部の外側にいくほど水深は深くなり流速は大きくなったが、流れは穏やかで流速の最大値は 0.636 m/s であった。多くの教科書や指導書にあるように屈曲の外側で速い流速を観測することができた。4 ~ 5 m 地点では、河床に近い場所で速い流速が観測されたが、流れの速い外側ほど速い流速が観測される場所は表層近くに移り、6.2 ~ 6.4 m 付近の水深 10 cm 付近に流心があることが見て取れる (図 4)。

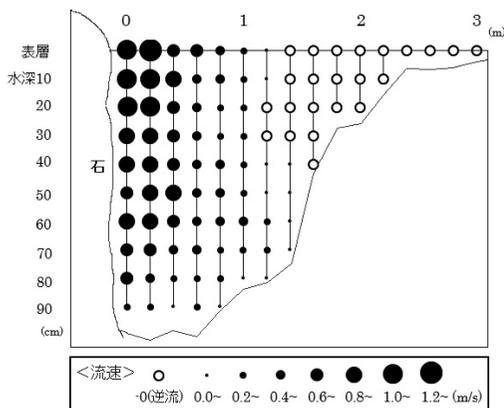


図 3 ① B 直線部の横断面流速分布

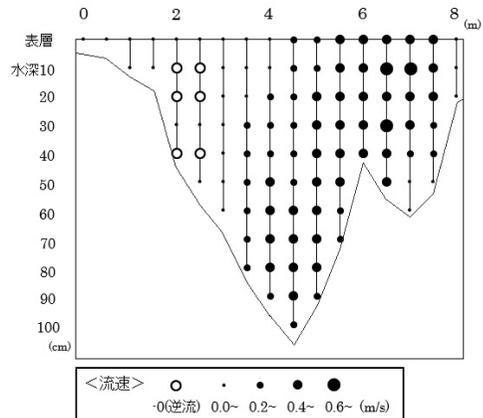


図 4 ① C 蛇行部の横断面流速分布

2.3.4 上流 (② A 蛇行部)

水深は蛇行部の外側で深くなっており、大きなレキが所々に散在していた。① C 地点の蛇行部と異なり、② A 地点では蛇行部の内側のポイントバー側ほど流速が大きく、最大で 0.972 m/s の流速が観測された。流速は表層付近と河床にある石の付近で大きいことが分かった (図 5)。

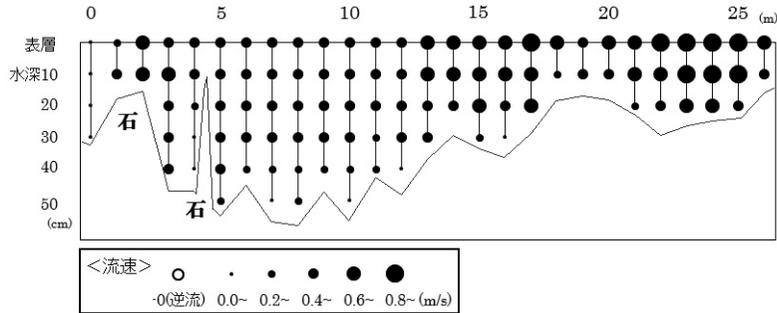


図 5 ② A 蛇行部の横断面流速分布

2.3.5 上流 (② B 直線部)

8.0 ~ 11.5 m の水深 20 cm 以深は測定不可能であった。河川の中央部の表層から水深 10cm 程度付近で最も流速が大きく、最大流速 1.832 m/s を観測した (図 6)。

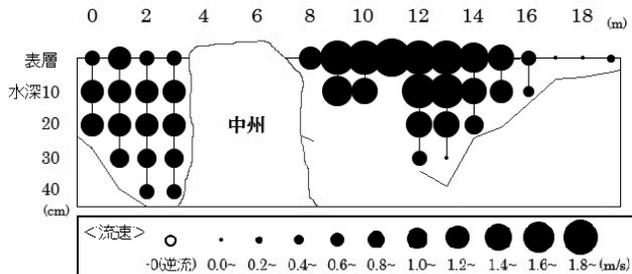


図 6 ② B 直線部の横断面流速分布

2.3.6 上流 (② C 早瀬)

② B 地点の 10 m 程度下流側に水面勾配の大きい早瀬があり、表層部の 2 箇所で流速を測定したところ、最大で表層部で 2.507 m/s の流速を測定した (図 7)。

2.3.7 中流 (③ 蛇行部)

蛇行部の中心部から外側にかけて水深が深くなっていった。蛇行部の内側で流速が最も大きくなっており、8 ~ 12 m 地点の表層部から水深 40 cm にかけて流心があることが分かったが、蛇行部の外側の 20 ~ 24 m 付近にも流速がやや速いところが存在することが分かった (図 8)。

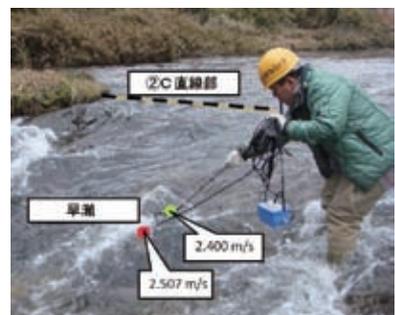


図 7 ② C 早瀬における流速の測定

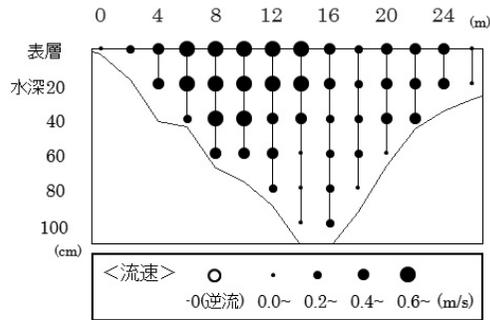


図 8 ③蛇行部横断面流速分布

2.3.8 中流 (④直線部)

流速は大きく、最大で 1.870 m/s を観測した。中央部の 7~9 m 地点は最も水深・流速ともに大きく、立ち入って測定することができなかつたが、2 m/s は超えているものと思われる。川の側端部の流速は小さい。中央部の流速の測定を行うことができなかったため、即断はできないが、中央部の流速は表層付近が最も速く、深くなるほど流速は遅くなる傾向が見られた (図 9)。

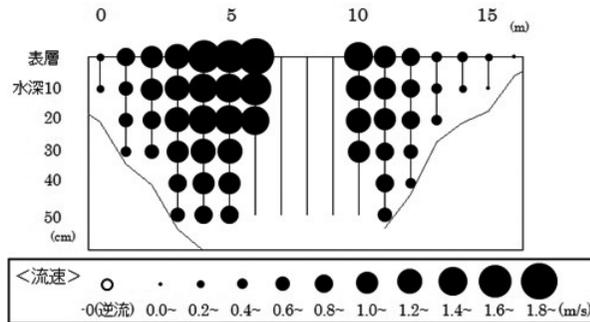


図 9 ④直線部横断面流速分布

2.3.9 下流 (⑤蛇行部)

川幅は 25 m 程度と広く、蛇行部の外側で水深が深くなっていた。蛇行部の外側である左岸側は水深が 1 m 以上あり、他の調査地点よりも水深は深い。流れは穏やかであり、測定できた全ポイントにおける流速は最大で 12 m 地点の表層で 0.290 m/s であった。12 m 地点から先の蛇行部の外側は水深が深く立ち入ることが出来ず、測定を行うことができなかったが、漂流物の動き等から、内側よりも流速が速いことは明らかであった (図 10)。

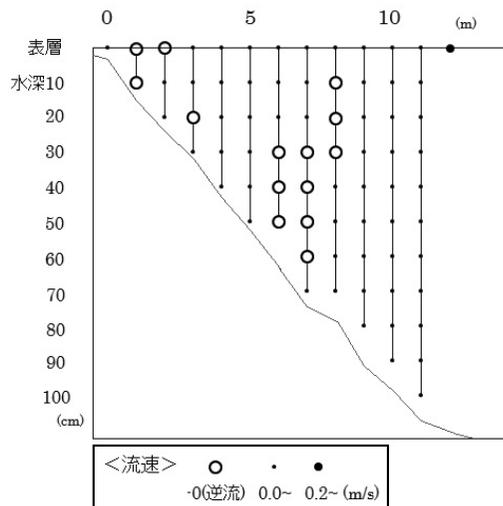


図 10 ⑤蛇行部横断面流速分布

Ⅲ. 考察

今回行った桂川の流速の測定地点は9箇所と少なく、十分な調査箇所を確保したとは言い難い面もあるが、多くの発見があり、教科書等に記載されている内容と実態とが一致している部分とそうではない部分があり、単純に言い切れるものではないことが分かった。

川の水深については、直線部では中央部が、蛇行部では外側が深くなっていると記されているが（例えば、中学入試問題研究会 2002）、今回調査を行った全箇所の蛇行部においても蛇行部の外側で水深が深くなっている傾向が見られた。直線部でも中、下流部では中央部が深い傾向が見られたが、①A直線部では中央部よりも右岸側が最も水深が深くなっていた。上流部では河床に大きなレキが存在していることが多く、河床の状態は複雑であった。

今回調査を行った4箇所の蛇行部では、予想に反して、蛇行部の内側の方が外側よりも流速が速い地点が2箇所見られた。表2は、4箇所の蛇行部で観測された事象をまとめたものである。蛇行部の内側の方が外側よりも流速の速い調査場所では、水の逆流は観測されなかったが、外側の方が流速の速い場所では内側で水の逆流が観測された。また、今回は水面勾配を定量的に調べることはできなかったが、蛇行部の内側で流速が速くなっている観測場所では、外側で流速が速くなっている観測場所よりも明らかに水面勾配が大きいように見受けられた。水面勾配が大きい蛇行部では、単純に高い位置から低い位置に最短距離で水が流れようとするために、蛇行部の内側で流速が大きくなるのかもしれない。

表2 蛇行部で観測された事象

	①C	②A	③	⑤
流速が速いところ	外側	内側	内側	外側
水深の深いところ	外側	外側	外側	外側
逆流	あり	なし	なし	あり
水面勾配	小?	大?	大?	殆どなし?

上流、中流、下流における流速の違いについては、全体的に見ると中流の直線部が最も流速が大きく、中流、上流、下流の順に流速が小さくなっているように思われた。特に④直線部は、水深が50cmを超えると立って歩けないほどであった。④直線部から数km川上の渡月橋南側でも横断面流速分布図を作成することはできなかったが、④直線部同様に水深が50cm程度であっても立ち入ることができないほど流速の速い地点があった。川幅が狭くなっているところや、水面勾配が大きい早瀬、川底にある大きなレキの周辺では大きな流速が観測されることもあるが、総じて上流部は中流部に比べて流速が大きいという傾向は見受けられなかった。一般的に、河川の流量は河口に下るにしたがって増加する（野満、1976）。中流では多くの支流が合流して水量が増加し、流量が増す。中流部では、流量の増加が流速の増加として観測されるために大きな流速が観測され、下流では水面勾配が小さくなることに加え、川幅が広くなり河川の断面積が大きくなるため、中流部に比べて小さい流速が観測されるようになるのではないかと考えられる。下流であっても川幅が狭く水面勾配が大きい場所であれば、中流部よりも

大きい流速が観測されることは有り得るだろう。

IV. おわりに

桂川の調査を行って、河川の流れは想像以上に複雑であることが分かり、実際に野外へ出てみて実際の川の流れを調べ、体験することの重要性を痛切に感じた。河川の蛇行部の外側は内側よりも流速が大きいこと、河川の流速は上流部で最も大きいとこれまで一義的に紹介されてきたことは必ずしも実態を反映しているとは言えないことも分かった。児童・生徒に河川の教育や安全指導を行う場合は、上流部や蛇行部の外側で流速が大きくなっているという説明を一義的に行うのではなく、実際の河川の流れは複雑であり、中流部でも流速が非常に大きいところがあることや、蛇行部の内側でも流速が大きい場所があること、河床にある大きな石の周辺は流速が大きいため気をつけるように指導するなど、実態に即した指導を行うことが特に重要であると考えた。

今回の調査は低水位時に行ったものであり、高水位時には低水位時と異なる流れになっている可能性もある。今後は、水位が変化した場合の流速の測定を行うとともに、水面勾配と断面流速分布の関係について調査を行っていきたい。また、桂川の調査地点を増やすとともに、他の河川についても調査範囲を広げていきたい。

謝辞

本研究を進めるにあたり、甲南大学理工学部の林慶一教授には、電磁流速計を借用させていただいた。また、京都教育大学附属高等学校の大石匠海講師には調査にあたりさまざまな補助をしていただいた。これらの支援に厚く御礼を申し上げます。

文献

- 林慶一 (2004) : 地学教材の特性と開発の視点
http://www.jpгу.org/education/2004education_abs/2004edu_abs5.pdf (2012/12/12 アクセス)
- 文部科学省 (2008) : 「小学校学習指導要領解説 理科編」, 大日本図書株式会社
- 野満隆治 (1976) : 「新河川学 第 8 版 (瀬野錦蔵 補訂)」, 地人書館
- 田中壮一郎編著 (2012) : 「体験の風をおこそう 体験活動の企画と展開」, 悠光堂
- 中学入試問題研究会 (2002) : 「シグマベスト 特進クラスの理科」, 文英堂
- 歌代勤, 倉林三郎編著 (1982) : 「編著理科実験指導シリーズ地学」, 講談社
- 吉川弘之・大隅良典・石浦章一・鎌田正裕 ほか (2011) : 「わくわく理科 5」, 啓林館