

熱赤外線情報による河川流速観測に関する研究

日大生産工 正会員 ○岩下 圭之

日大生産工 正会員 藤井 寿生

木更津高専 正会員 大木 正喜

(株)協和コンサルタンツ 大畑 政人

1.はじめに

近年、音波やレーザーのドップラー効果を利用したドップラー流速計による流速観測がされているケースがある。しかしながら、これらの流速測定法はあくまでも点流速の測定であり、川幅の広い河川において測定にかなりの時間を要してしまう。従来の流速観測法は横断方向の流速分布を測定するため、測定に膨大な時間と観測員を必要とし、測量業界では簡易的に流速を測定する手法の開発が課題となっている。

本研究では、電磁波のドップラー効果を利用して、熱赤外センサで観測した河川の流動面に対する熱分布画像から横断方向の流速分布を定量的に推定することを目的とした。

2.熱赤外線と表面温度

絶対零度以上の物体はその温度に応じた原子や分子運動が行われており、その熱状態に応じて電磁波を発生させている。

本研究において、測定を行う対象物の波長帯が $7 \sim 14 \mu\text{m}$ であるから、エネルギーの最大放射を示す電磁波の波長と絶対温度との関係を示す法則として、次の Wien の変位則の式を用いた。

$$\lambda_m \cdot T = 2,898$$

λ_m : 最大放射を示す電磁波の波長 (μm)

T : 絶対温度 (K)

3 ドップラー効果の原理

周波数 ν の音源が静止している観測者に近づく場合、観測者の受け取る周波数は接近するに従い低下し、観測者から遠ざかる場合は増加する。したがって、観測される音波の周波数は、

$$\nu' = u / \lambda' = u / (u - u_s) \cdot \nu$$

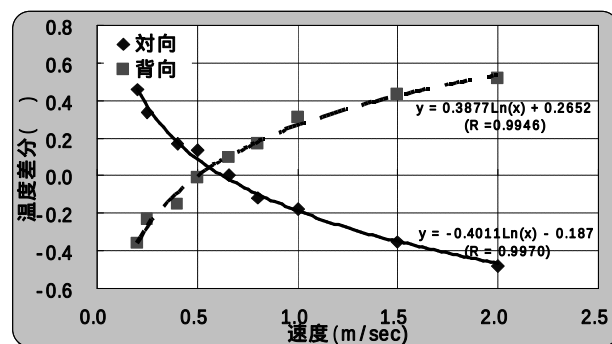


Fig.1 Difference in temperature versus velocity (lab.experiments)

の式で表され、この式が音波のドップラー効果の式である。

また、音波だけでなくドップラー効果は電磁波、水面波などあらゆる種類の波において同様に発生する。光源に向かって相対的な速さ u で近づく観測者が見る振動数 ν' は、光の速さ c 、光源の振動数を ν とし、また運動速度を u_r 、光速を c とすると

$$\nu' = \sqrt{1 + (u_r/c)} / 1 - (u_r/c) \nu$$

の式で与えられ、音速 u を光速 c で置き換えたものとは異なったものになる。

4.ドップラー効果の検証基礎実験

4.1 光源を対象とした速度実験

台車に電球を設置し、手動で $0.2\text{m/sec} \sim 2.0\text{m/sec}$ に速度を変化させ、対向および背向の熱分布画像の撮影を試みた。

Fig.1 に室内実験の対向と背向の速度と温度差分の相関グラフを示した。

熱赤外センサから捉えた温度分布より、Wien の変位則の式を用い、対向の場合には電磁波の波長が短くなり、逆に背向の場合には波長が長くなるドップラー効果特有の傾向を捉えることができた。

キーワード：熱赤外センサ ドップラー効果 流速

連絡先：日本大学生産工学部土木工学科(住所:千葉県習志野市泉町 1-2-1 TEL:047-474-2471 FAX:047-474-2449)

また、対向においては速度が速くなると、熱源の温度分布が低下し、背向においては、速度が速くなると温度分布が上昇する関係が得られた。

4.2 流水を対象とした基礎実験

自然条件の影響を一定にすることのできる室内にて、サーキット型実験水路を用い、流速に対するドップラー効果の検証実験を試みた。

また、水温を3段階に変化させ、各水温に対し、同様な傾向が得られるか検証を行った。

測定条件は以下の通りである。

室内温度：16.0 水深：5.0cm

全 週：4.60m 流量：0.039m³

水温変化：8、15、28

なお、水路内に設置したプロペラ式モーターの個数を変えることで、流速を4段階に変化させた。

水表面を対象とした基礎実験においても、対向は流速が速くなると表面温度が低く表示され、逆に背向は流速が速くなると表面温度が高く表示される速度実験と同様な傾向が見られた。

5. ドップラー効果の応用実験

本研究による応用実験は、

- 1) 福島県会津若松市の阿賀野川の支川の湯川
 - 2) 長野県白馬村の姫川の支川の犬川
 - 3) 千葉県野田市の江戸川
- の3河川を対象に実施した。

流速測定手法として、湯川、犬川は横河電機製微流速計 CR-7 型を用い、横断方向に 25cm ピッチで 6 割水深に固定して測定した。

江戸川はカレントメーターを用いて、橋梁から上流側および下流側の横断方向に 10m ピッチで表面流速の測定を行った。

5.1 湯川における観測手法と解析結果

湯川の測定地点の下流側に架かる橋梁（湯川天神橋）上に設置した熱赤外センサを上流側に向け、自然の状態での流速分布と人工構造物により横断方向の流速分布を人為的に変えた2つの断面を対象に、流動が観測者に向かってくる状態で流速測定地点の温度分布を観測した。

Fig.2 に湯川における通常時ならびに流速変化時の温度分布と流速分布のグラフを示した。これより、流速を変化させた場合、それに伴って熱分布画像において水面温度の変化が観測された。

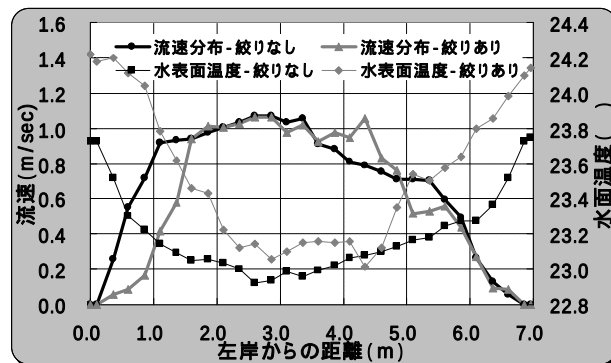


Fig.2 Profile of water body surface temperature and measured current at cross section line, the Yukawa

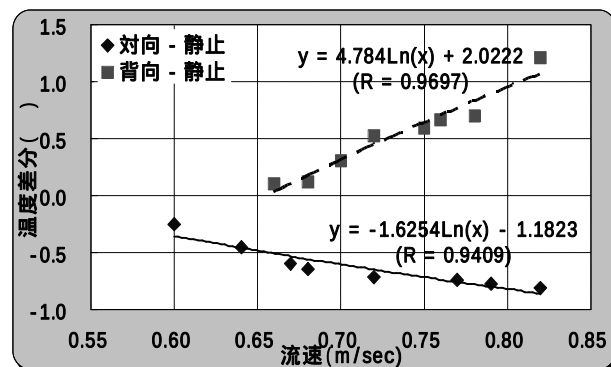


Fig.3 Difference in temperature versus current at the Gyokuyo bridge on the Edogawa, Chiba pref..

5.3 江戸川の観測手法と解析結果

江戸川においては、橋梁の上流側および下流側に赤外線センサを設置し、流動が向かってくる場合および遠ざかる場合の温度分布の観測を試みた。しかし、川幅が約 100m に達し、河川全体の撮影を試みると熱画像の解像度が低下し、より正確な水面温度を抽出できないため、横断方向に 10m ピッチに分割撮影し、観測を試みた。

Fig.3 に江戸川における対向と背向の温度差分グラフを示した。これより、他の自然河川よりも分散はあるものの、大河川においても流速分布と温度分布に良好な相関関係が存在することを判読できた。

6. まとめ

本研究から 8～14μm の赤外線波長帯におけるドップラー効果を確認し、河川の流速観測に利用できる基礎データを得ることができた。これを基に赤外線センサを用いて、熱分布画像の温度分布より流速分布を推定することが可能である。

[参考文献]

- 1) 山下 栄吉：応用電磁波工学、近代科学社
- 2) 日本写真測量学会：熱赤外線リモートセンシングの技術と実際 鹿島出版社