

II-325

密度場の光学的非挿入ART測定法の開発

東京工業大学大学院 (現 熊谷組) 日向 博文

東京工業大学工学部 正 員 日野 幹雄

1 はじめに

密度場における密度の計測, 特に塩分濃度の計測には困難が伴う。通常用いられる電気伝導度計は, 塩分濃度による電気抵抗の変化を電氣的に検出する方法である。しかし, この従来の方法には様々な問題がある。例えば, 多くの情報を一度に得ようとし, 電気伝導度計のプロブを多数挿入すると流れ場がプロブにより乱されるし, 逆にプロブの数が少ないと同一時刻における多点の情報を得ることは不可能である。さらにシャドウグラフやシュリーレン法等従来の密度変化の測定法は定性的濃度分布を調べるにとどまり, 仮定として光軸方向の密度分布の一様性が必要であったり, 測定装置も取り扱いにくいといった欠点がある。こういった様々な理由から密度の瞬間分布を非接触・非挿入式で測定する方法が必要となる。そこで密度変化が屈折率の変化になることを逆に利用し密度分布を測定することを考える。つまり密度分布を持った流体中を進む光線の経路の曲がり具合から密度分布を推定しようというわけである。

2 レーザー光を利用した密度分布逆推定法

2.1 順問題

密度場の屈折率分布が場所の関数として与えられたとき, ある点から射出された光の経路は次式により求められる。

$$\frac{d}{ds} \left(N(X) \frac{dX}{ds} \right) = \text{grad } N(X) \quad (1)$$

ここに X は光路, $N(X)$ は屈折率, s は進路を表す (Snell の法則)。上式は2次元の場合, 次の連立微分方程式で表される。

$$\frac{dN}{ds} f_1 + N \frac{df_1}{ds} = \frac{N}{x}, \quad \frac{dx}{ds} = f_1$$

(2)

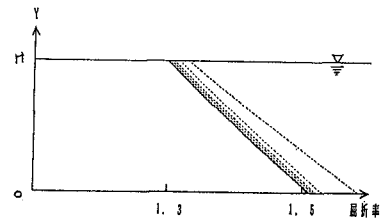


図-1 光路の収束状況

$$N \frac{df_2}{ds} + \frac{dN}{ds} f_2 = \frac{N}{y}, \quad \frac{dy}{ds} = f_2$$

屈折率 N が場所 $X = (x, y)$ の関数として与えられる場合, 上式は Runge-Kutta 法により簡単に数値積分でき, 光路が容易に求まる。

2.2 逆問題

この逆問題には様々な問題設定が考えられるが, ここでは次のような問題設定をした。

- (1) 光源の位置と光線の放射角は既知である。
- (2) 光線の経路のうち任意の点をデータとして採用できる。光線の経路全体がわかるとすれば密度分布を求めることは楽であるが, 実際的ではないので光路上の数点のみとする。
- (3) 密度場の変化は三次元的であるが, 光線のスキャンは一つの平面内で瞬時に行われる。したがって, 屈折率分布は1次元もしくは2次元の場合を考えれば十分である。
- (4) 数本の光はすべて同時に入射するものとする。したがって, 密度分布の時間変化は光路検出点の変化を時々刻々記録しこれを解析すれば求められる。

2.3 逆問題を解く手順(図-2)

屈折率分布の関数形とそれに含まれる係数(パラメータ)を仮定し(step1), この屈折率分布の式(2), (

3) を解いて、レーザーの射出検出平面上の射出点の座標 $Y(i)$ をもとめる (step2)。これを測定された実際の射出点座標 $Z(i)$ と比較し、その二乗和誤差を最小にするという判定基準

$$\sum [Y(i) - Z(i)]^2 \rightarrow \min \quad (4)$$

によりパラメータの最適値を最適化法により求め (step3)、屈折率分布の関数を決定する。今回この最小二乗同定法としてマルカット (Marquardt) 法を採用した。

3 シミュレーションによる妥当性の検討結果

以上の密度分布 (屈折率分布) 逆推定法の妥当性を、シミュレーションにより検討した。すなわち、密度場を仮定し、数本の入射光の光路を順問題として求め、その結果の一部 (入射点位置と射出点位置) を与え、逆問題として密度場の逆推定を行い、順問題の解との比較をする。

3.1 内部波 (図-3)

はっきりとした二層流体中において正弦的に微小変動する密度場の逆推定を行った。(1) は逆推定の第一段階 (step1) における、(2) は step3 (推定結果) における内部波の形である。かなりよい推定結果が得られる事が分かる。

3.2 連続成層流体の流れ場 (2次元)

図-4に示す密度分布は、線形連続成層内に2次元山型物体によって内部重力波が引き起こされた場合の推定結果である。(1) が step1、(2) が step3 における等密度線図である。引き起こされる内部重力波は線形理論により解析解

$$\eta = H a [(a \cos ky - x \sin ky) / (a^2 + x^2)] \quad (5)$$

で表される。このとき密度分布は、線形連続成層に波高に比例した密度変化が重なったものになっている。

4 計測機器

強さ2mWのHe-Neレーザーを光源として、これを回転ミラーおよび多面反射ミラーにより測定面内をスキャンさせる。レーザー射出点の位置座標はPSD (Position Sensing Device) により検出した。

5 参考文献

- 1) 奥島基良: 超音波計測の動向, 計測と制御, vol.123, N05, p2-p33, 1989
- 2) 竹内俱佳: 海洋音響トモグラフィー, 日本音響学会会誌, 42巻, p575-p585, 1986

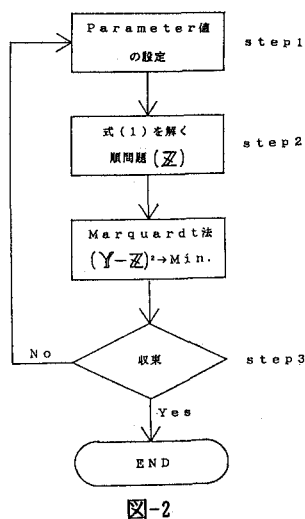


図-2

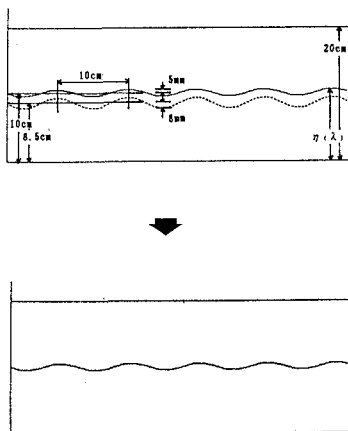


図-3

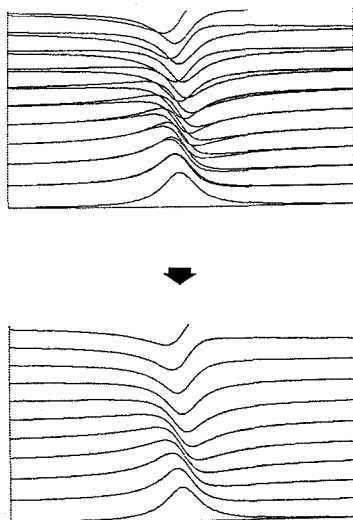


図-4