

# 水槽模型を用いたカトマンズバレーの冬季高濃度汚染メカニズムの解明

## (その2) 感温液晶を用いた2次元温度分布の測定

杉沢 正彦 (大阪大学)  
加賀 昭和 (大阪大学)  
近藤 明 (大阪大学)

Manohar Lal Shrestha (大阪大学)  
井上 義雄 (大阪大学)

### 1. はじめに

ネパールの首都カトマンズは、北緯 28 度、東経 85 度、海拔 1300mの高地に位置し、周囲を盆地よりも 1000m以上高い山に囲まれた峡谷内の都市である。他のアジア諸都市と同様に、自動車排ガス等による大気汚染が著しく、とくに冬季は夏季に比べて高い汚染濃度を示す。著者らは 2001 年 2 月に 2 週間にわたって現地観測を実施し、大気中の浮遊粒子状物質の濃度 (Tribhuvan 大学屋上で計測) が図 1 のように明確な日変化を示し、1 日の最高濃度が午前 6 時から 9 時の間に出現することを確認した。また、峡谷内の山の斜面を利用して観測した高度別気温変化からは、20 近い気温の日較差のために夜間に強い接地逆転が生じ、夜間から早朝にかけて峡谷内に冷気が滞留する汚染のメカニズムが推測された<sup>1)</sup>。本研究は、冬季にカトマンズ峡谷内に発生する高濃度汚染のメカニズムを水槽模型実験<sup>2)</sup>により解明することを目的としている。著者らはこれまでの研究において水槽模型内の流場を PIV により観察をした<sup>3)</sup>。本報では、感温液晶シートを用いた温度場計測および蛍光物質 Uranine をトレーサとして用いた拡散場計測を行った結果を報告する。

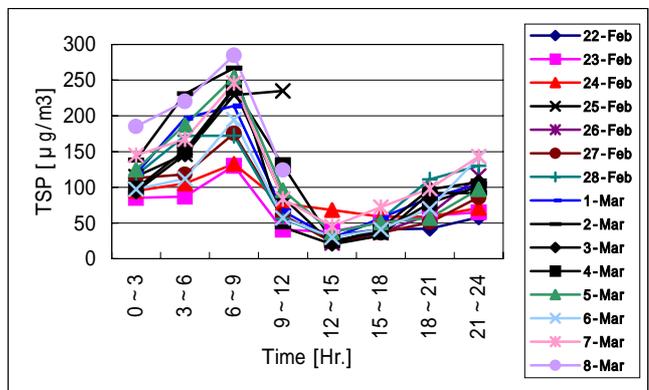


図 1 カトマンズ市における TSP 濃度の日変化観測地

### 2. 水槽模型実験

#### 2.1 水槽模型

水槽模型 (図 2) は上・中・下部の 3 つの水槽から構成されており、中間の水槽が峡谷の大気境界層に対応し、幅約 20km、深さ約 1km のカトマンズ峡谷を模擬している。上部水槽は境界層上面を一定温度に保つ目的で、下部水槽は地表面温度に日変化を与える目的で設置されている。

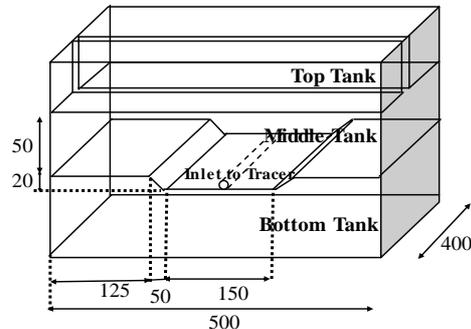


図 2 カトマンズ峡谷を模擬した水槽模型

#### 2.2 実験手順

上部水槽の水温を 40 一定に、下部水槽の水温を 35 一定に保って 3 時間放置し、境界層に温度勾配一定の成層をあらかじめ形成する。その後、低部水槽にフィールドの気温の日変化に相似する温度振幅を周期 12 分、振幅 7 で与え (図 3)、2 周期を経過したのち諸量の測定を開始した。また、撮影にはカラー CCD カメラ (NEC 製 NC-510) を用い、1.5 秒間隔で 15 分間、連続 600 枚のフレーム画像を 640pix × 400pix の解像度でパソコンに直接入力した。

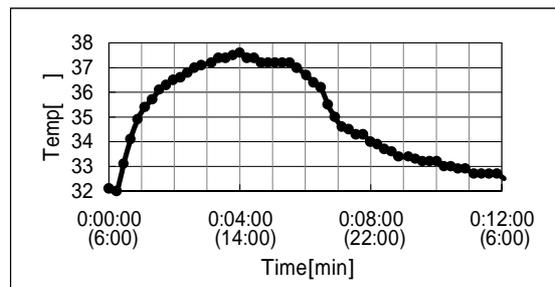


図 3 水槽模型内地表面温度変化

( )内は対応時刻

### 2.2.1 温度場計測

中部水槽内に感温液晶シートを配置し、左右からリフレクタランプ(100V,500W 各 1 台)を照射して可視化し、校正実験から温度分布を算出した。

### 2.2.2 拡散場計測

中部水槽底面の中央に配置した沢山の小さな穴を開けたチューブを注射器に接続し、ある時刻から 1ml (0.3mg/l) の蛍光染料 Uranine を現実の 1 時間に対応する 30 秒間注入し、Ar レーザ(日本レーザ製、出力 1W)のスリット光を照射して可視化し、校正実験から濃度分布を算出した。

## 3. 模型実験の相似則

Ueda の提案した相似則<sup>4)</sup>に基づいて、水槽模型内の現象と実際のフィールドでの現象との間での距離および流速の関係を、表 1 のように算出した。

表 1 水槽模型とフィールドとの距離・流速の対応関係

	Experiment	Field
Horizontal length	1 mm	90 m
Vertical length	1 mm	56 m
Wind speed	1 mm/s	6.3 m/s

## 4. 実験結果

### 4.1 温度場計測

算出した温度分布の 2 次元分布を図 4.a に、水槽中央部の鉛直分布を図 4.b に示す。2 次元分布からは水平方向にはほぼ一様な温度分布が広がっていること、また 16 時から 22 時の間は斜面部で下降流の影響であると考えられる温度分布の乱れが確認できる。鉛直分布からは 6 時にはしっかりとした温度成層が確認でき、地表面温度の増加に伴って 16 時までは混合層が発達している様子が、18 時以降は混合層が徐々に崩れ再び温度成層が形成されていく様子が確認される。また、地表面温度変化の影響が峡谷の深さである 20 mm を少し超える高さにまで及んでいることもわかる。

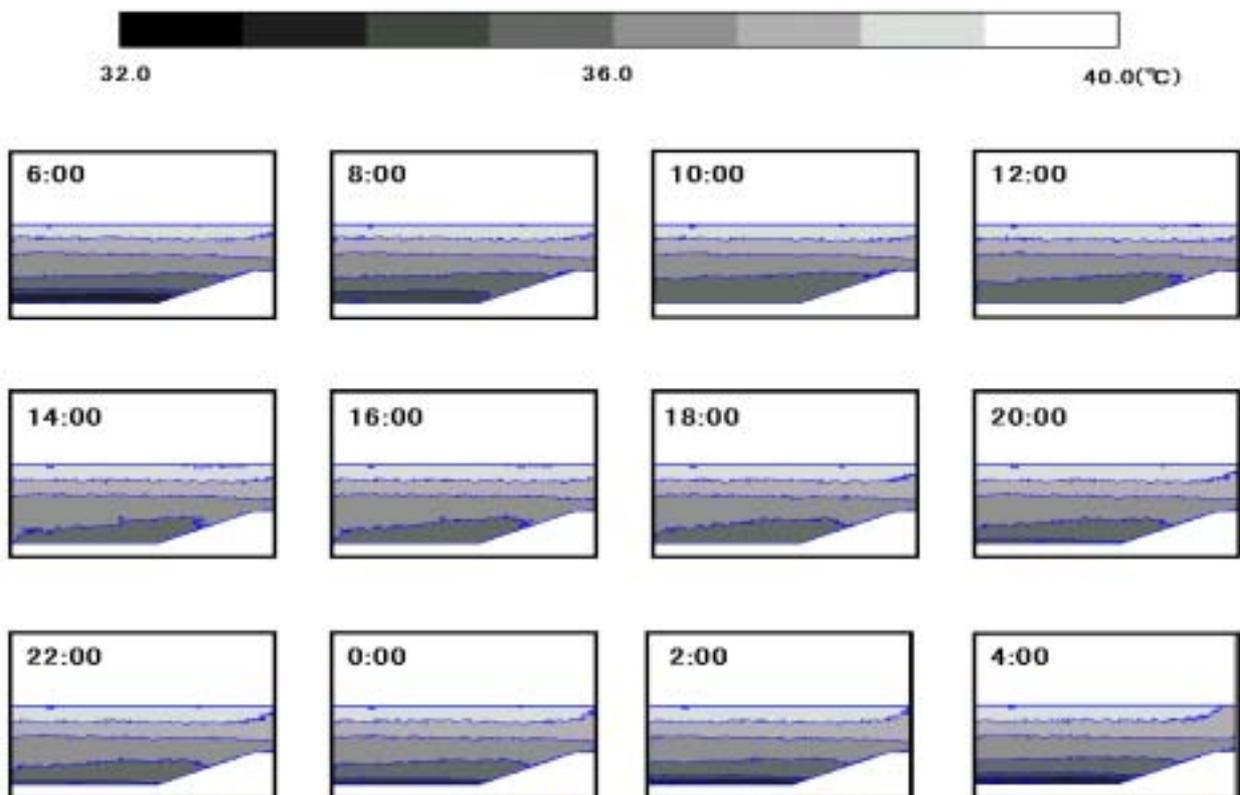


図 4.a 水槽模型内 2 次元温度分布

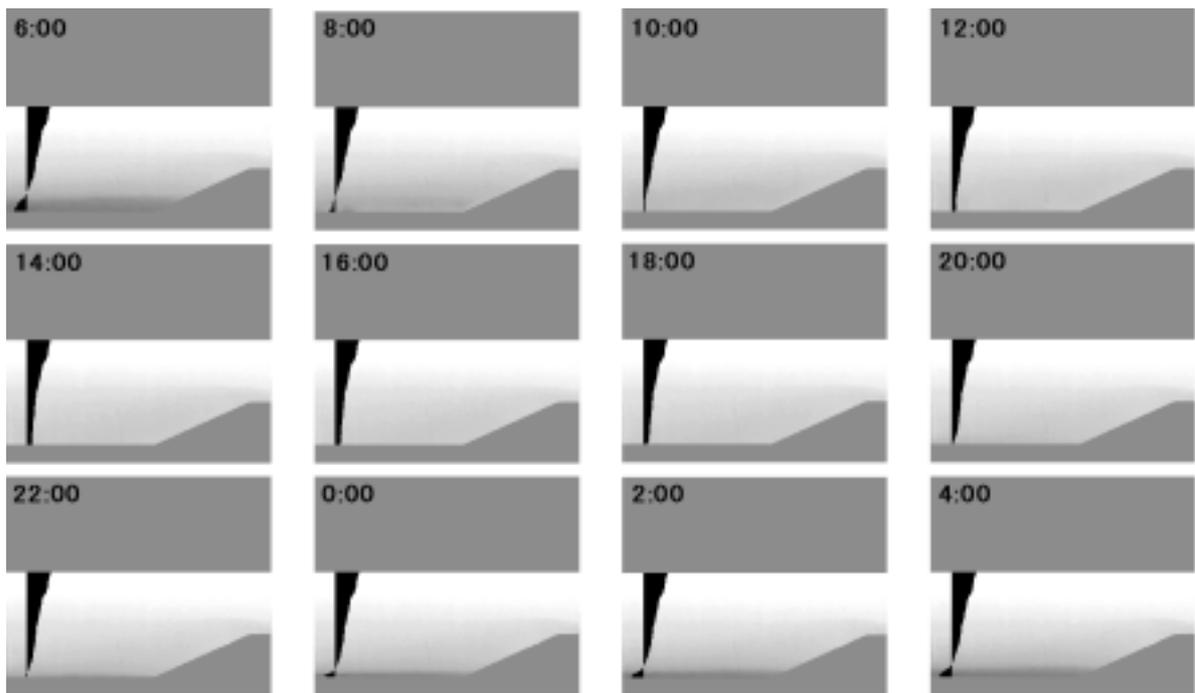


図 4.b 水槽模型中央部，鉛直温度分布

#### 4.2 拡散場計測

3時,9時,15時に対応する時刻にそれぞれ放出させた場合における1時間ごとの濃度分布をそれぞれ図5.a, 図5.b, 図5.cに示す. 図5.aからは午前7時ごろまでは地表面付近にトレーサが留まっており午前8時ごろから拡散する様子が, 図5.bからは午前9時の放出直後から上下方向の混合が起こり峡谷全体に拡散する様子が, 図5.cからは午後3時の放出直後に上方に拡散する様子が見られる.

これらの結果は, 夜間あるいは早朝に峡谷内に放出された大気汚染物質が, 夜間から早朝にかけては峡谷の底部に滞留し, 地表面温度の上昇につれて汚染物質が上方にまで拡散し最終的には峡谷外にまで排出されてゆくことに対応すると思われる, 現地での濃度観測結果と符合している.

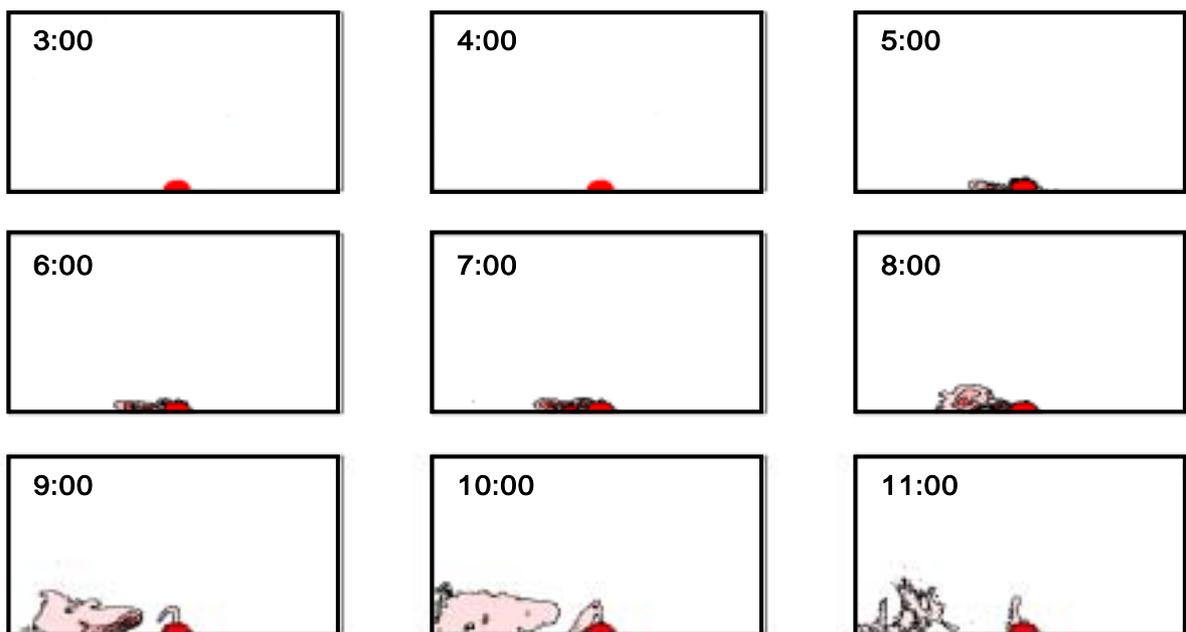


図 5.a 午前3時放出時の経時変化画像

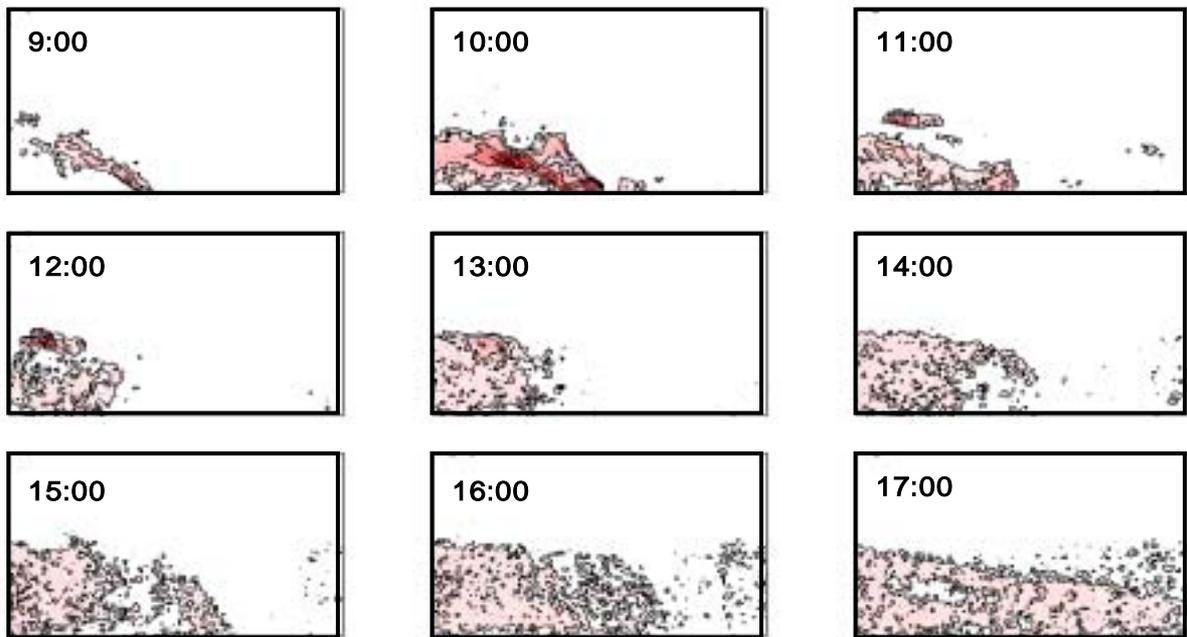


図 5.b 午前 9 時放出時の経時変化画像

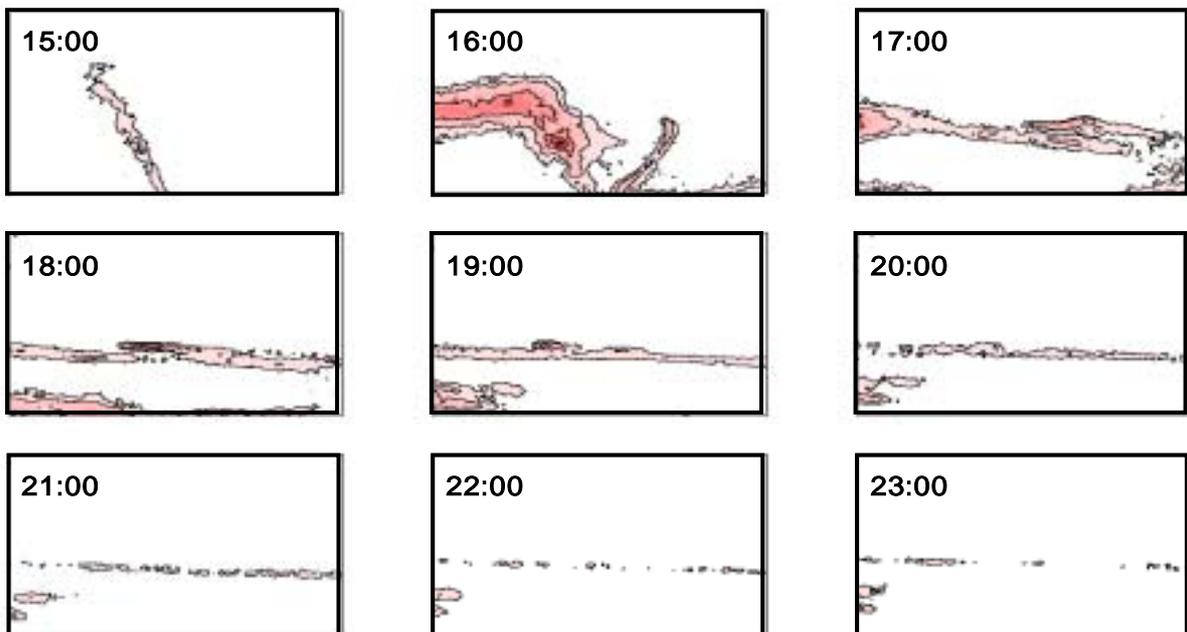


図 5.c 午後 3 時放出時の経時変化画像

## 5.まとめ

カトマンズ峡谷を模擬した水槽模型内の温度場および拡散場を、それぞれ感温液晶シートおよび蛍光物質 Uranine をトレーサとして計測することにより、カトマンズ市で冬季に発生する大気汚染メカニズムを把握することができた。

## 参考文献

- 1) Shrestha, M. ほか：カトマンズ市の大気汚染濃度の日変動, 第 42 回大気環境学会年会講演要旨集, p.521 (2001)
- 2) 近藤明ほか：水槽実験と数値解析を用いた海陸風の解析とその流れ場が物質拡散に及ぼす影響, 大気環境学会誌, Vol.35, No.6, pp.355-367 (2000)
- 3) 加賀昭和ほか：水槽模型によるカトマンズバレーの冬季高濃度大気汚染の可視化, 可視化情報 Vol.22, No.9, pp.367-370 (2002/7)
- 4) Ueda, H.: Effects of External Parameters on the Flow Field in the Coastal Region – A Linear Model, J. Climate and Appl. Meteor., 22, pp.312-321(1962)

