

銚子沖における洋上風況観測 その3 ～風況における大気安定度の影響～

Meteorological Observation off the coast of Choshi part 3 - The effect of atmospheric stability on wind field

○山中 徹<sup>1)</sup> 大窪 一正<sup>2)</sup> 福本 幸成<sup>3)</sup> 石原 孟<sup>4)</sup>  
Toru YAMANAKA<sup>1)</sup> Kazumasa OKUBO<sup>2)</sup> Yukinari FUKUMOTO<sup>3)</sup> Takeshi ISHIHARA<sup>4)</sup>

1. はじめに

千葉県銚子沖 3.1km の風況観測タワーから得られる基本的な風況特性についてこれまで報告してきた<sup>1) 2)</sup>。その中で、風向によっては風況に陸地の影響が見られた<sup>1)</sup>。本論文では、陸地の影響を受けない風向を対象として、大気安定度が洋上の乱れの強さに与える影響について調査した結果を報告する。

2. 解析方法

2.1 計測機器

風向風速は三杯式風速計、矢羽根式風向計で計測した。気温・湿度は平均海面 (M. S. L.) から+30m に設置した温度差計・温湿度計でそれぞれ計測し、水温は M. S. L. -5.25m の設置した水温計で計測した。風況観測タワーの観測機器の詳細は林田他<sup>3)</sup> を参照されたい。

2.2 使用した観測データ

検討期間は2013年6月～2014年5月の1年間である。全高度の風向がほぼ同じ方位 (M. S. L. 80m の風向を基準として時計回りに 22.5°, 反時計回りに -45° の範囲) を示すデータのみを用いた。この条件によって抽出したデータ個数は、検討期間における全データの 9.4% にあたる。既往の研究では<sup>1)</sup>、風上に陸地がある場合、陸地の影響を受けて乱れの強さが大きくなることを示した。本報告では、陸地の影響を受けない洋上の風況を調査する場合は、風上側の数十 km の範囲に陸地が無い風向を図1のように選び、この風向範囲のデータを分析した。以降では、この風向を海側風向 (Offshore wind direction) と称す。使用したデータは10分間毎の10分間平均値である。

3. 年間の大気安定度

大気安定度を簡易に推定する手法として、大気と海面の仮温度の差 (以降では  $DTv_{air-sea}$  と表記) を用いた。大気仮温度は M. S. L. +30m での温度・湿度を乾燥漸熱減率によって平均海面の仮温度に換算した。海面の仮温度は M. S. L. -5.25m での水温を海面温度とし、飽和を仮

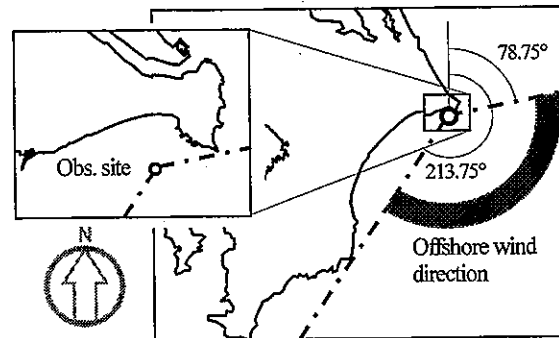


Figure 1 Observation site and offshore wind direction

定して算出したが、高度補正は行っていない。大気、海面の仮温度および  $DTv_{air-sea}$  の月平均値の年間の推移を図2に示す。同図では銚子沖の大気安定度の概要を知るために風向による仕分けをせずに陸側の風向も含めている。夏季 (6月～8月) では、大気の方が海面よりも仮温度が高く、大気下層 (M. S. L. +30m 以下) は安定な状態を示している。冬季 (12月～2月) は大気の方が海面よりも仮温度が低く、大気下層は不安定である。このように暖候期に大気下層が安定になり寒候期に不安定になる傾向は北海における観測結果<sup>4)</sup> と整合し、洋上における一般的な大気安定度だと考えられる。

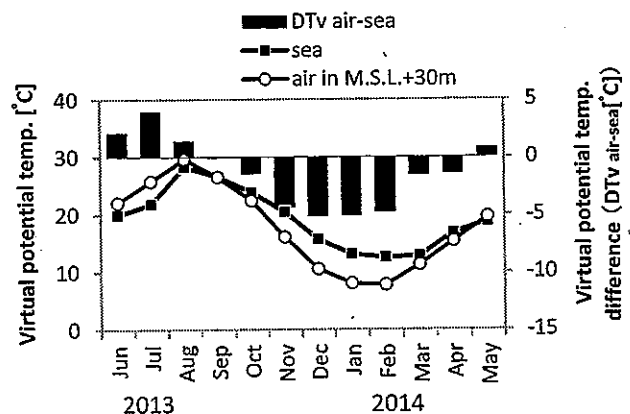


Figure 2 Monthly average temperature

1) 鹿島建設技術研究所 上席研究員  
Chief Research Engineer, Kajima Technical Research Institute  
3) 東京電力(株)技術開発センター マネージャー  
Group Manager, Tokyo Electric Power Company

2) 鹿島建設技術研究所 研究員  
Research Engineer, Kajima Technical Research Institute  
4) 東京大学大学院工学系研究科 教授  
Professor, Department of Civil Engineering,  
The University of Tokyo

#### 4. 洋上の風況と大気安定度

##### 4. 1 簡易評価した大気安定度の日変化

大気と海面の仮温位の差 ( $DTv_{air-sea}$ ) について、夏季 (6月~8月) および冬季 (12月~2月) における日変化を図3に示す。各時刻の縦棒は標準偏差である。同図では、M.S.L. +80mの風向が海側風向であるデータを用いた。海側風向の発生頻度は夏季で50%、冬季で9%であるため<sup>1)</sup>、夏季と冬季ではデータ数が異なる。

図3を見ると、冬季は午前 (9時~11時) に  $DTv_{air-sea}$  が正值 (大気の方が海面よりも仮温位が高い) となり大気が安定するが、午後から夜 (14時~19時) に  $DTv_{air-sea}$  の平均値が負値 (大気が海面よりも仮温位が低い) となり、ばらつきはあるものの大気は不安定になる。夏季は終日  $DTv_{air-sea}$  が正值となり大気は安定である。一般的に、陸上では季節を問わず日中に大気は不安定化するが、洋上の大気安定度は陸上と異なる傾向を示すことが分かる。

##### 4. 2 乱れの強さと簡易評価した大気安定度

$DTv_{air-sea}$  に対する乱れの強さの発生度数を図4に示す。同図では、 $DTv_{air-sea}$  を  $0.5^\circ\text{C}$  刻み、乱れの強さを1%刻みで階級化し、各階級の発生度数を等値線で示している。また、 $DTv_{air-sea}$  階級毎に乱れの強さの中央値を黒丸で示した。乱れの強さの観測高度は M.S.L. 80m であり、M.S.L. 80m で海側風向かつ風速  $5\text{m/s}$  以上のデータを用いた。発生度数の等値線が極大となるのは、 $DTv_{air-sea}$  階級  $1\sim 1.5^\circ\text{C}$  かつ乱れの強さ階級  $3\sim 4\%$  であった。また、 $DTv_{air-sea}$  階級毎の乱れの強さの中央値を見ると、 $DTv_{air-sea}$  が負値から正值になるのに伴い乱れの強さは小さくなる傾向を示した。これは、大気安定度が乱れの強さに影響することを示している。

##### 4. 3 乱れの強さと平均風速

M.S.L. 80m における平均風速と乱れの強さの関係を図5に示す。同図では風速階級  $1\text{m/s}$  毎に乱れの強さの発生度数の分布を対数正規分布で近似した時の90%点値も示した。また、 $DTv_{air-sea}$  の正負でシンボルマークを変えているが、90%点値は  $DTv_{air-sea}$  の正負で区別せず合算して算出した。同図によると平均風速  $20\text{m/s}$  以

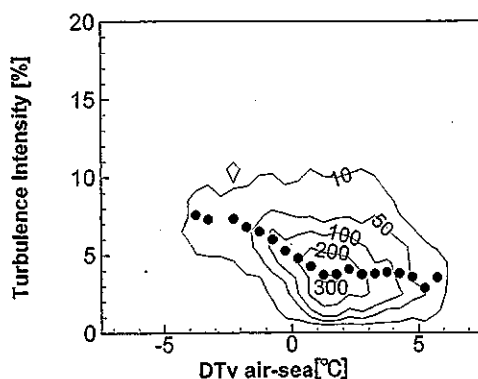


Figure 4 Joint frequency distribution of Turbulence intensity and air-sea temperature difference (Offshore wind direction, M.S.L.80m)

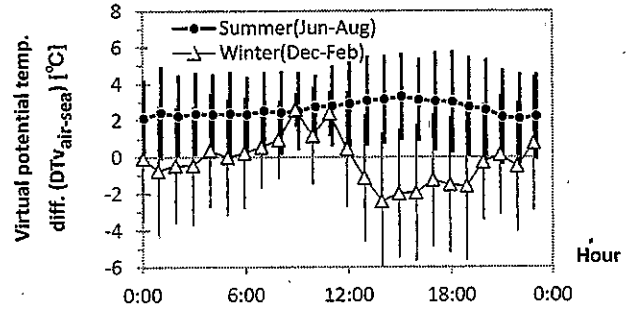


Figure 3 Diurnal variation of air-sea temperature difference

上で  $DTv_{air-sea}$  は正值を示し、強風時には大気は安定寄りである。乱れの強さの90%点値は平均風速  $20\text{m/s}$  以上において IEC-カテゴリ C を下回るが近接した。

#### 5. まとめ

大気と海面の仮温位差を用いて大気安定度を評価した。海側風向では、夏季は終日大気が安定している。冬季は午後から夜にかけて不安定化する。大気が不安定から安定になると乱れの強さは小さくなる傾向があった。海側風向の平均風速  $20\text{m/s}$  以上では大気は安定寄りだが、乱れの強さは IEC-カテゴリ C に近接した。

#### 参考文献

- 1) 助川他, 銚子沖 3.1km における洋上風況観測, 第35回風力エネルギー利用シンポジウム, 2013年10月, pp.260-263
- 2) 福本他, 銚子沖における洋上風況観測結果, 第36回風力エネルギー利用シンポジウム, 2014年11月, pp.225-228
- 3) 林田他, 銚子沖における洋上風況観測結果, 日本風工学会年次大会, 2015年5月 (投稿中)
- 4) A. J. Kettle, et al., Unexpected vertical wind speed profiles in the boundary layer over the southern North Sea, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2014, pp.149-162.

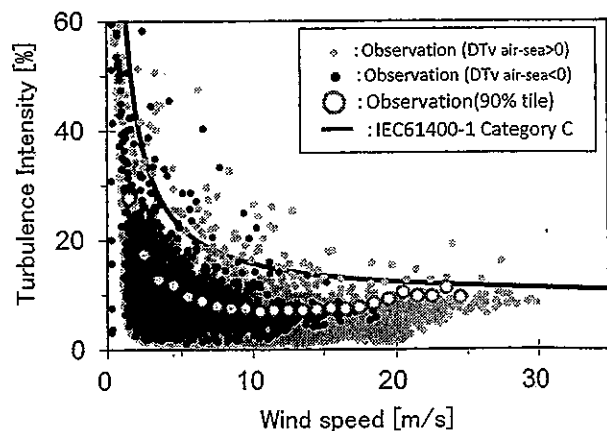


Figure 5 Scatter plot of turbulence intensity and wind speed (Offshore wind direction, M.S.L.80m)