

Upper-Tropospheric Atmospheric Motion Vectors Derived from Geostationary Satellite Himawari-8 Water Vapor Observations

Chien-Ben Chou

“Central Weather Bureau”, Taipei Taiwan
Email: chou227@gmail.com

Received: Apr. 3rd, 2017; accepted: Apr. 22nd, 2017; published: Apr. 27th, 2017

Abstract

In this article the water vapor channel at 7.0 micron on geostationary satellite Himawari-8 has been used to derive atmospheric motion vectors. The atmospheric motion vectors were created by two consecutive water vapor channel images with time interval 10 minutes. In order to estimate the errors of atmospheric motion vectors the atmospheric motion vectors were compare to sounding observation. It can be found that the errors of atmospheric motion vectors are close to the errors of 6 hours numerical weather forecast wind field where a strict quality check was adopted in deriving atmospheric motion vector procedure. These results reveal that the atmospheric motion vectors were accurate and have the potential to be used in data assimilation system in the future.

Keywords

Water Vapor Channel, Atmospheric Motion Vector

地球同步卫星向日葵8号水汽频道推算 高层大气运动向量

周鉴本

“中央气象局”四组, 台湾 台北
Email: chou227@gmail.com

收稿日期: 2017年4月3日; 录用日期: 2017年4月22日; 发布日期: 2017年4月27日

摘要

本文使用日本地球同步卫星向日葵8号上所载7.0微米水汽频道推导大气运动向量,实验的结果显示:以连续两张间隔10分钟的水汽频道观测影像所推导的大气运动向量,与探空风场数据比对可以发现,当推导过程中设定比较严格的质量检定情形下,卫星推导的大气运动向量与探空风场差值的大小,与区域模式6小时预报风场与探空风场差值十分接近,这显示目前以向日葵8号卫星水汽频道所推导的大气运动向量,具有不错的准确性,有机会于未来将此风场数据放进数值预报数据同化系统中。

关键词

水汽频道, 大气运动向量

Copyright © 2017 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

利用连续卫星观测云图推导大气运动向量的技术,可追溯自上世纪60年代[1],相关的自动操作系统亦见于1970年代[2]并经不断改进[3],由于大气运动向量可用于天气分析或数值预报数据同化,例如[4]将其运用于对流初始的实时预报,[5]用以分析中尺度流场,[6]将此数据放进4维变分同化系统中以改进台风路径与强度预报。因此无论就其产品的运用或方法的改进至今仍有学者致力于这方面的研究[7]与[8]。

卫星推导大气运动向量主要分两个步骤,一是计算大气运动向量,二是指定大气运动向量的高度。就计算大气运动向量而言,大致有3种不同的方法:(1)互相关法(cross-correlation algorithm)、(2)型态辨认法(pattern recognition)及视觉连贯法(optical flow algorithm),[8]简述三种方法及列举相关文献可供参考。本文实验采用交互关法。

大气运动向量求得后,接下来需指定其高度(所在气压),这个工作,须要借助数值预报的温度或风场或二者为辅助信息,方可完成。在此列出过去发展的几个方法:(1)等效黑体温度(equivalent black body temperature)法,这个方法假设云为黑体,因此可以云顶的亮温比对大气温度剖面而得到云顶所在气压,[3]用以追踪大气运动向量的像元方阵中最冷的20%红外窗区频道亮温像元的均温与预报场温度剖面比对,求得大气运动向量的高度,但须注意这方法在半透明卷云时可产生误差。(2)是于[9]所述二氧化碳切片法(CO₂-slicing technique),这个方法中使用二氧化碳窗区频道与二氧化碳吸收频道观测、计算的云顶辐射与晴空辐射,在此法中两频道有云观测与晴空差值的比可经由公式计算,而此公式为云高的函数,因此当两频道实际有云观测与晴空差值比与经由公式在设定某一云高计算的值最接近时,公式中的云高设定及为实际的云高,但须注意这个方法的假设:云对两个频道的放射率一致,云层厚度极小。(3)为[10]提出的水汽截断法(H₂O-intercept technique)使用水汽与红外频道。方法(2)及(3)这两个方法对中高层云效果不错,但当观测辐射与晴空辐射差值小于仪气噪声时,此二法会失败。(4)云底技术(cloud-base technique)此法只适用于低层云[11]。另一方法使用温度信息外更结合风场的信息,(5)例如[12]以卫星推导大气运动向量参数(温度、风速、风向及所在气压值)与数值预报相对应的参数差来定义变分代价函数(variational penalty function),求其极小值来指定高度,详细作法参阅该文内容。

另一个在推导大气运动向量时需注意的问题是: [12]指出卫星推导大气运动向量,在中高层具有慢偏差(slow bias),这个慢偏差可能的原因来自于,云与水汽的运动不能完全等同于瞬时风,尤其是在高层时。降低慢偏差的方法是以经验修正项来完成,对大气运动向量约增加 8%左右的大小。除了经验修正的方法外也有学者试图由推导大气运动向量的方法上改进此一问题, [13]提出套迭追踪法(nested tracking approach),这个方法基本上是互相关法,在他的方法中在原先为追踪大气运动的标的像元方阵中,再分出较小的次像元方阵,只有当次像元方阵求出的大气运动向量与原像元方阵求出的运动向量相近的次像元观测才被拿来指定高度,藉提升高度的准确度以降低慢偏差的大小。

若要使用大气运动向量在数据同化系统中,必须被了解其误差的特性,对于大气运动向量的误差而言,指定云高的过程是误差产生的主要来源[14],在他的论文中,以最佳拟合气压统计(best-fit pressure statics)给出指定云高过程的不确定性(误差)的可靠信息。这个方法是以比对数值预报的风场向量垂直剖面数据与卫星推导的大气运动向量,找出卫星推导的大气运动向量与值预报的垂直剖面风场向量相差最小处,作为卫星推导的大气运动向量所在“正确”的高度。而此高度与原先大气运动向量的高度差,视为大气运动向量高度的误差,以此资料统计大气运动向量高度的误差的偏差及标准方差。作为日后同化数据的参考。

如前所述大气运动向量另一个运用是在分析天气现象, [5]以大气运动向量分析中尺度的风场,此时与使用大气运动向量于数据同化时不同,此时希望获得较多的大气运动向量,虽然这些向量可能偏离数值预报风场较远,于数据同化系统中会为严格的质量检定所淘汰,因此于其文中推导大气运动向量时,降低数值预报场于推导过程的限制,并透过调整推导过程中对目标的选择及对大气运动向量校订等,增加大气运动向量的数量较原先为数据同化设计的操作系统高出 20 倍。这是在使用大气运动向量于不同目的时需考虑的问题。

2. 方法

本文中我们以互相关法计算大气运动向量,首先在观测云图中选取 15 乘 15 的像元方阵为追踪大气运动的标的,当此方阵中亮度温度的梯度值(以 Interactive Data Language 的 Morph_gradients 内建子程序计算梯度值)有大于 3 的值且方阵中亮度温度最大值减最小值大于 3,则视此方阵(具可追踪物:如云块)可用于求取大气运动向量。然后在 10 分钟后观测的云图中,找寻与此方阵同样维度(15 乘 15)的方阵,找出其与原来所选方阵标的相似度最高的方阵,认定为经 10 分钟后,原标的方阵中的云块(追踪物)所到达的位置,故由两者之距离除以 10 分钟而得到大气运动向量;即大气运动速度,当然寻找相似度的方阵是在原方阵位置的附近,例如向原方阵上下左右 15 个像元的范围内寻找,比对相似度的方法是计算其相关性,选取关性大于 0.9 且所寻方阵与原标的方阵互相关性最高者。

在决定大气运动向量所在的气压值(高度)时。首先比对数值预报的垂直温度剖面与原 15 乘 15 的像元方阵中 20%最低温的平均值,作为初始指定高度的方法。然后将得到的大气运动向量参数与其附近的数值预报场相对应参数,写成下列代价函数,取在垂直方向寻找到代价函数最小值,此时的数值预报气压值为最终的大气运动向量所在气压值(高度)。代价函数定义如下:

$$B_{m,k} = \left(\frac{V_m - V_{i,j,k}}{F_V} \right)^2 + \left(\frac{T_m - T_{i,j,k}}{F_T} \right)^2 + \left(\frac{P_m - P_{i,j,k}}{F_P} \right)^2 + \left(\frac{dd_m - dd_{i,j,k}}{F_{dd}} \right)^2 + \left(\frac{S_m - S_{i,j,k}}{F_S} \right)^2 \quad (1)$$

公式中 V 是风的向量、 T 是温度、 P 是气压、 dd 是风向、 s 是风速、 m 是水汽频道大气运动向量值、

i 与 j 是数值预报的水平坐标(在此是数值预报场内插至运动向量的位置)、 k 是垂直方向做标, F_x 是公式右边各项的权重, 它可决定右边各项参数(风的向量、温度、气压、风向、风速)对代价函数的影响程度, 其值的设定参考文献[3]。在垂直方向寻找最小值时, 只容许在初始指定高度上下 100 hPa 范围内。

当最终向量高度决定后, 最后以简单的方法作质量检定: (1) 大气运动速度减数值预报风场向量的值小于 4 m/s。(2) $[(\text{大气运动速度大小} - \text{数值预报风速大小}) / (0.5 \times \text{大气运动速度大小} + 0.5 \times \text{数值预报风速大小})] < 0.7$ 。(3)若风速大于 3 m/s 加另一检定: 大气运动方向与数值预报风向相差小于 50 度。

3. 资料

此次实验使用的卫星数据是日本向日葵 8 号卫星上的 7.0 微米水汽频道, 时间为 2016 年 12 月 1 至 9 日(缺 12 月 3 日资料)每日 0 时 0 分及 0 时 10 分两张连续卫星影像, 用以推导大气运动向量, 影像分辨率为 2 公里。以本局区域模式提供温度场与风场, 作为指定大气运动向量高度的辅助数据, 模式范围如图 1, 水平分辨率是 20 公里。另外是测站的探空数据, 以此数据当作“真值”用以估计大气运动向量误差。

4. 实验结果

首先我们以 2016 年 12 月 7 日 00 时个案, 检视推导大气运动向量的结果, 以 6 小时的数值预报风场与探空风场做为比对照证的资料, 并检视 3 种不同的质量检定设定值对推导大气运动向量的影响。图 1 是推导大气运动向量与数值预报风场的比较, 图中蓝色向量是数值预报 300 hPa 的风场, 推导大气运动向量中高度在 50 hPa 到 250 hPa 之间以红色标示, 高度在 251 hPa 到 350 hPa 之间以黄色标示, 高度在 351 hPa 到 550 hPa 之间以青色标示。图 1(a)-(c)分别为前面所述方法质量检定(1)中, 大气运动速度向量减数值预报风场向量的值小于 60 m/s、8 m/s 及 4 m/s 的情形。比较图中黄色向量与蓝色数值预报风场向量, 二者高度差在 50 hPa 以内, 定性上可以发现两者无论在热带积云外围区或温带高层西风区都有不错的吻合, 即使在质量检定宽松的情形下也是如此(图 1(a)), 其他各层也具类似结果, 在此并未展示。质量检定愈严求得的大气运动向量愈少, 若要以此数据做主观分析可能不是很方便, 但对数据同化的用户而言, 却需要一定严格程度的质量检定, 这是在使用大气运动向量这种数据时需考虑的问题。

为估计大气运动向量的质量, 将此数据与探空风场做比对, 比对的结果如表 1, 由表 1 中可以发现, 质量检定严格的情形下, 大气运动向量的误差与数值预报风场误差相近。这显示出大气运动向量具一定程度的准确度。表 1 中用来做比对的探空资料分布情形画于图 2 中, 图中红色向量代表大气运动向量、蓝色向量代表数值预报风场向量、黑色向量代表探空风场。比较图 2(a)与图 2(c)可以发现, 严格的质量检定将中纬度高层风速较大的数据给筛选掉了, 这现象也可从表 1 中探空风速的平均值变化看出, 在质量检定设定值为 4 m/s 时, 探空风速的平均值由 17~18 m/s 降至约 14 m/s。在做大气运动向量与探空数据做比较时, 大气运动向量所在的气压值与探空数据气压值相差需小于 20 hPa, 大气运动向量所在的位置与探空数据位置距离小于 150 公里, 而数值预报风场则是内插至探空数据位置。同时探空风场与数值预报风场差须小于 10 m/s, 作为探空风场的简单检定。

Table 1. Comparison of the error of atmospheric motion vector and 6 hours wind field from numerical weather forecast in different quality check setting

表 1. 在不同质量检定设定下大气运动向量误差与数值预报风场误差的比较

质量检定设定值	探空风速的平均值	大气运动向量减探空风场平均值	数值预报风场减探空风场平均值	数据数量
60 m/s	18.7739	7.06809	4.38279	31
8 m/s	17.4285	5.24573	4.33222	28
4 m/s	14.1580	4.54096	4.29455	19

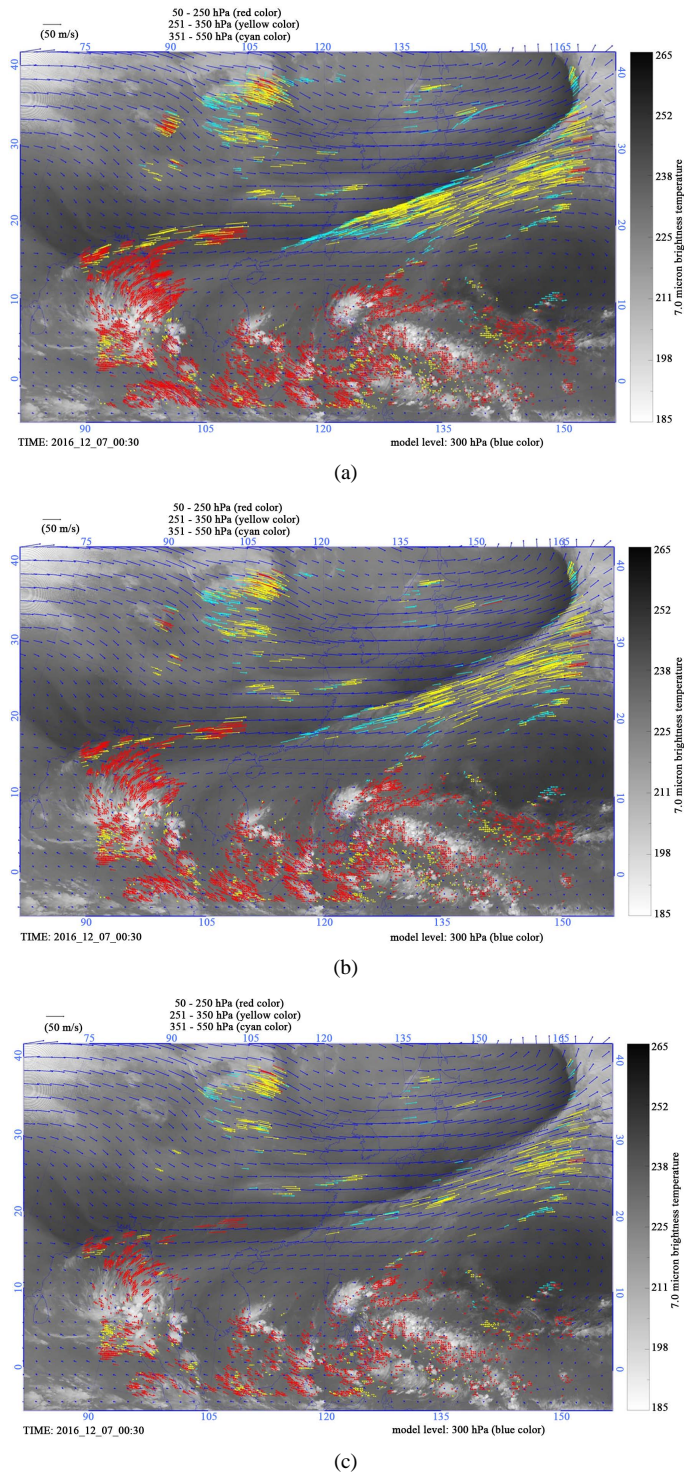


Figure 1. An example of Himawari-8 atmospheric motion vector over eastern Asia. Wind measurements at different levels. Level (50 - 250 hPa) winds are in red, level (251 - 350 hPa) winds are in yellow, and level (351 - 550 hPa) are in cyan. Blue vectors represent the 6 hours forecast winds from numerical weather prediction at 300 hPa. (a), (b) and (c) are the quality check setting value in 60 m/s, 8 m/s and 4 m/s

图 1. 图(a)、(b)及(c)分别为质量检定中设定大气运动向量减数值预报风场向量的值小于 60 m/s、小于 8 m/s 及小于 4 m/s 的情形。红色向量代表大气运动向量高度在 50 至 250 hPa 之间、黄色在 251 至 350 hPa 之间、青色在 351 至 550 hPa 之间。蓝色向量为数值预报 300 hPa 的风场

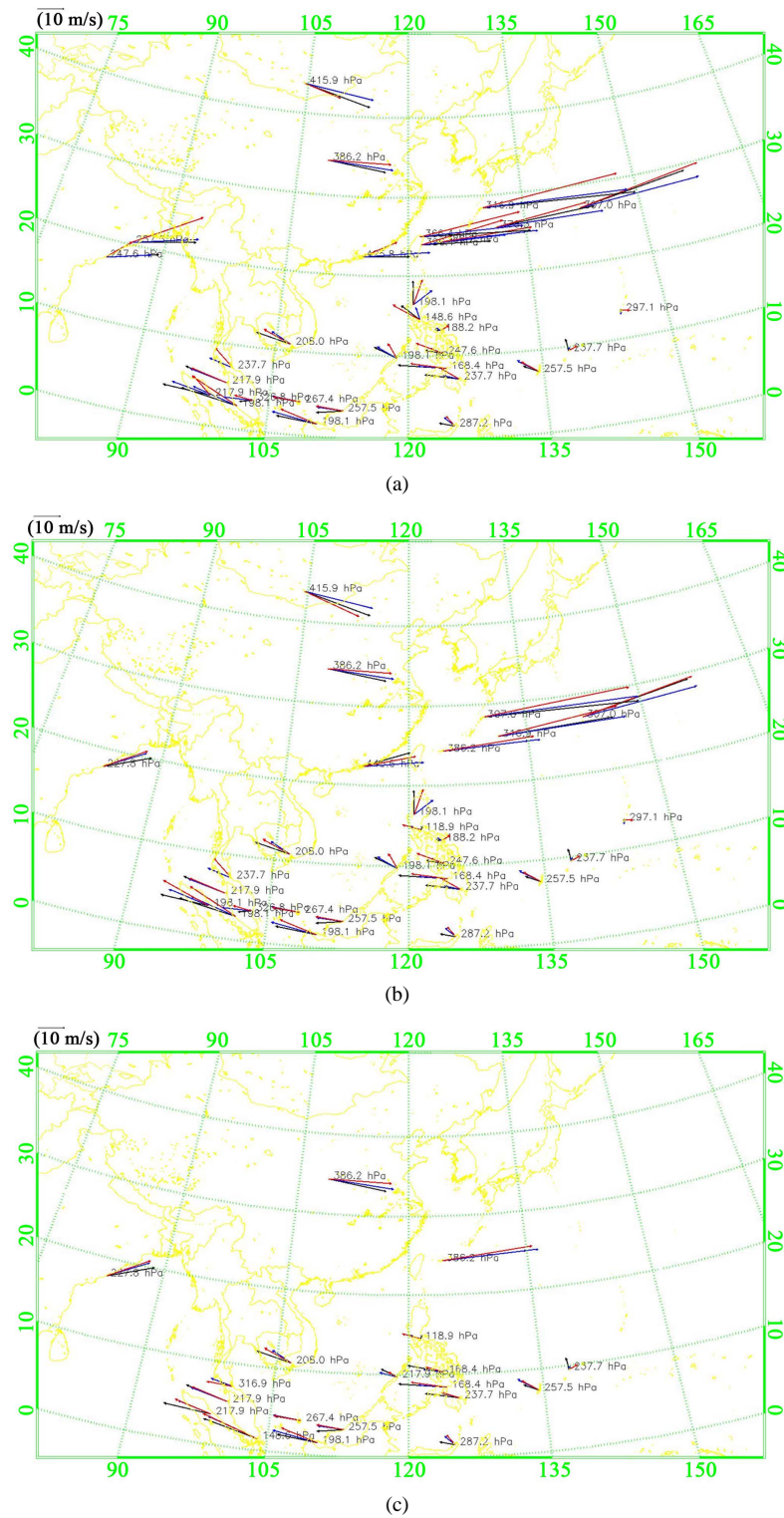


Figure 2. Comparing the atmospheric motion vector (red color), 6 hours forecast winds (blue color) and sounding data (black color). (a), (b) and (c) are the quality check setting value in 60 m/s, 8 m/s and 4 m/s

图 2. 是大气运动向量(红色)与数值预报风场向量(蓝色)与探空风场(黑色)的比较, 大气运动向量减探空风场与数值预报风场向量减探空风场的差值, 列于表 1。图(a)、(b)及(c)分别为质量检定中设定大气运动向量减数值预报风场向量的值小于 60 m/s、小于 8 m/s 及小于 4 m/s 的情形

接下来列出以 2016 年 12 月上旬 8 个个案的结果于表 2 中，实验中质量检定设定值为 8 m/s 及 4 m/s 两种情形。由表 2 可以发现，当质量检定设定值为 4 m/s 时，大气运动向量与数值预报风场向量的误差十分的接近，即使是质量检定设定值放宽为 8 m/s 时，大气运动向量误差增加，但与数值预报风场向量误差相比，相差仍小于 2 m/s，这样的结果显示目前以日本向日葵 8 号水 7.0 微米汽频道所推导出的大气运动向量，将来是有机会放到数值预报数据同化系统中的。

最后我们展示 2016 年 10 月 20 日 12 时海马台风的个案，由图 3 可看见，大气运动向量可以明确的标示出台风的上层由台风中心向外流出的环流，台湾东侧反气旋环流，及台风北方受较高纬度西风影响，

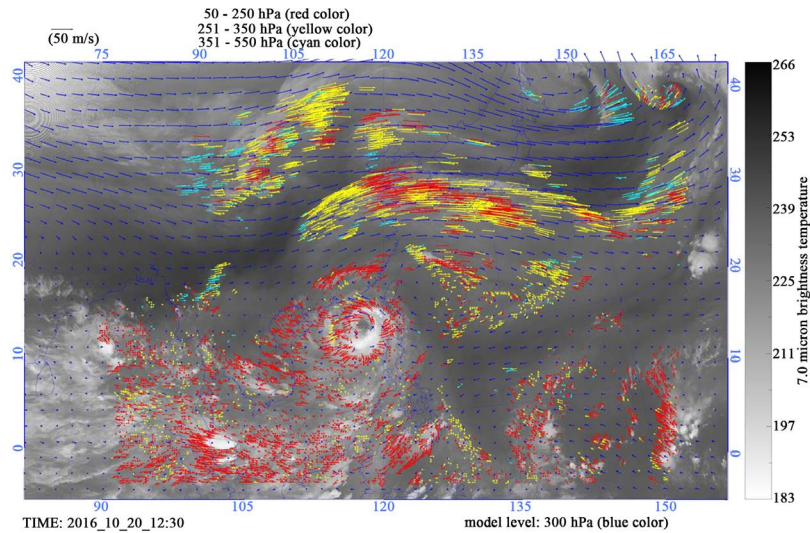


Figure 3. Same as Figure 1 but for case Typhoon Haima 1200 UTC 20 October 2016. The value of quality check setting is 8 m/s

图 3. 与图 1 相同但为 2016 年 10 月 20 日 12 时海马台风个案，此时质量检定值设定为 8 m/s

Table 2. Comparison the error of atmospheric motion vector and 6 hours wind field from numerical weather forecast in different quality check setting. Display the result of eight cases form 01 December to 09 December 2016

表 2. 如表 1，但为 2016 年 12 月上旬的个案

个案	质量检定设定值	探空风速的平均值	大气运动向量减探空风场平均值	数值预报风场减探空风场平均值	数据数量
12 月 1 日	8 m/s	21.8539	5.84205	4.69026	48
0 时 0 分	4 m/s	22.7380	4.79189	4.49785	42
12 月 2 日	8 m/s	15.5752	4.52075	3.37709	33
0 时 0 分	4 m/s	15.0708	3.96562	3.57097	28
12 月 4 日	8 m/s	20.7140	5.43137	4.39272	42
0 时 0 分	4 m/s	19.5520	4.95848	4.76681	38
12 月 5 日	8 m/s	22.0239	5.84379	4.04059	41
0 时 0 分	4 m/s	21.5780	4.49656	4.14016	38
12 月 6 日	8 m/s	22.1294	6.01515	4.11113	31
0 时 0 分	4 m/s	22.2416	5.12438	4.64140	29
12 月 7 日	8 m/s	17.4285	5.24573	4.33222	28
0 时 0 分	4 m/s	14.1580	4.54096	4.29455	19
12 月 8 日	8 m/s	17.5831	7.29775	5.995518	24
0 时 0 分	4 m/s	15.1872	7.69775	6.55254	16
12 月 9 日	8 m/s	21.0857	5.06155	4.63792	35
0 时 0 分	4 m/s	19.1003	4.76358	4.74070	30

风中心向外流出的环流在此明显转向偏西风，海马台风受西风的影响，可在其登陆大陆后行进方向由西北逐渐转向东北做为佐证。这次实验是以 7.0 微米频道做为推导大气运动向量，因此所求风场向量在中高层，日后可加入其他权重函数较低的频道，以增加低层风的观测。

5. 结论

卫星推导的大气运动向量，对于天气分析或数值预报数据同化都有用处，本文使用互相关法以日本地球同步卫星向日葵 8 号的水汽频道推导大气上层的大气运动向量，将此大气运动向量与相对应时间的区域模式数值预报 6 小时预报风场比较，就定性上而言，无论是中纬度的西风风场或热带对流附近的风场，大气运动向量都与数值预报 6 小时预报风场相匹配。就定量上而言，在质量检定设定较严格的情形下，以探空观测风场为“真值”估算出的大气运动向量误差与 6 小时预报风场误差十分接近。就此初步的实验结果来看，目前建立的推导大气运动向量的程序所得的向日葵 8 号风场产品，有可能放入数值预报数据同化系统中以改进天气预报的质量。未来的工作中将测试红外线、可见光频道的数据，以增加大气运动向量在其它高度的数量，增加用于天气分析的风场数据量，尤其是在海洋上缺乏传统探空观测的地区，并测试其他指定高度的方法等，以改进目前的系统。

参考文献 (References)

- [1] Fujita, T. (1968) Present Status of Cloud Velocity Computations from ATS-1 and ATS-3. *Space Research*, **9**, 557-570.
- [2] Leese, J.A., Novak, C.S. and Clark, B.B. (1971) An Automated Technique for Obtaining Cloud Motion from Geosynchronous Satellite Data Using Cross Correlation. *Journal of Applied Meteorology*, **10**, 118-132. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1971\)010<0118:AATFOC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1971)010<0118:AATFOC>2.0.CO;2)
- [3] Nieman, S.J., Menzel, W.P., Hayden, C.M., Gray, D., Wanzong, S.T., Velden, C.S. and Daniels, J. (1997) Fully Automated Cloud-Drift Winds in NEDIS Operations. *Bulletin of the AMS*, **78**, 1121-1133.
- [4] Walker, J.R., MacKenzie, W.M., Mecikalski, J.R. and Jewett, C.P. (2012) An Enhanced Geostationary Satellite-Based Convective Initiation Algorithm for 0-2 Nowcasting with Object Tracking. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **51**, 1933-1949. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-11-0246.1>
- [5] Bedka, K.M. and Mecikalski, J.R. (2005) Application of Satellite-Derived Atmospheric Motion Vectors for Estimating Mesoscale Flow. *Journal of Applied Meteorology*, **44**, 1761-1772. <https://doi.org/10.1175/JAM2264.1>
- [6] Bormann, N. and Thepaut, J.-N. (2004) Impact of MODIS Polar Wind in ECMWF's 4DVAR Data Assimilation System. *Monthly Weather Review*, **132**, 929-940. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2004\)132<0929:IOMPWI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2004)132<0929:IOMPWI>2.0.CO;2)
- [7] Wu, T.-C., Liu, H., Majumdar, S.J., Velden, C.S. and Anderson, J.L. (2014) Influence of Assimilating Satellite-Derived Atmospheric Motion Vector Observations on Numerical Analyses and Forecast of Tropical Cyclone Track and Intensity. *Monthly Weather Review*, **142**, 49-71. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-13-00023.1>
- [8] Wu, Q., Wang, H.-Q., Lin, Y.-J., Zhuang, Y.-Z. and Zhang, Y. (2016) Deriving AMVs from Geostationary Satellite Images Using Optical Flow Algorithm Based on Polynomial Expansion. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **33**, 1727-1747.
- [9] Menzel, W.L.S. and Stewart, T.R. (1992) Improved Cloud Motion Wind Vector and Altitude Assignment Using VAS. *Journal of Applied Meteorology*, **31**, 270-384.
- [10] Szejwach, G. (1982) Determination of Semi-Transparent Cirrus Cloud Temperature from Infrared Radiances: Application to Meteosat. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **48**, 450-463. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1982\)021<0384:dostcc>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1982)021<0384:dostcc>2.0.co;2)
- [11] Jung, J., Le Marshall, J., Daniels, J. and Riishojgaard, L.P. (2010) Investigating Height Assignment Type Error in the NCEP Global Forecasting System. *Proceedings of 10th International Wind Workshop*, Tokyo, 22-26 February 2010, Session 3, Paper 4.
- [12] Velden, C.S., Hayden, C.M., Nieman, S.J., Mieman, W.P., Menzel, W.P., Wanzong, S. and Goerss, J.S. (1997) Upper-Tropospheric Winds Derived from Geostationary Satellite Water Vapor Observations. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **78**, 173-195. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<0173:UTWDFG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<0173:UTWDFG>2.0.CO;2)
- [13] Bresky, W.C., Daniels, J.M., Bailey, A.A. and Wanzong, S.T. (2012) New Method toward Minimizing the Slow Speed Bias Associated with Atmospheric Motion Vectors. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **51**, 2137-2151.

<https://doi.org/10.1175/JAMC-D-11-0234.1>

- [14] Salonen, K., Cotton, J., Bormann, N. and Forsythe, M. (2015) Characterizing AMV Height-Assignment Error by Comparing Best-Fit Pressure Statistic from the Met Office and ECMWF Data Assimilation Systems. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **54**, 225-242. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-14-0025.1>

Hans 汉斯

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ag@hanspub.org