

出國報告（出國類別：實習）

中美氣象資訊自動監測技術發展合作—
LAPS-GSI 建置

服務機關：交通部中央氣象局

職稱：委任技佐

姓名：鄭龍聰

派赴國家：美國

出國期間：民國 95 年 2 月 20 日至 8 月 18 日

報告日期：民國 95 年 10 月 11 日

中美氣象資訊自動監測技術發展合作-LAPS-GSI 系統建置

摘要

LAPS-GSI 是結合區域分析預報系統(**LAPS**)和網格統計內插(**GSI**)的初始場分析方法。格點統計內插(**Gridpoint Statistic Interpolation**)簡稱 **GSI** 是美國 **NCEP** 目前正在發展的方法，為一三維變分(3DVAR)的分析方法。它提供多種資料的同化，包括 GPS 資料、衛星輻射量資料、都卜勒雷達徑向速度、雷達回波、降雨觀測資料，雲觀測及臭氧觀測等資料，可以結合觀測資料，及模式分析場當背景場進行三度空間分析。對於背景誤差估計(background error estimate)，其採用了 **NMC (National Meteorological Center)**統計方法，可以有效改善初始場的分析，提供較為準確的分析場供預報模式做分析與預報之用。

此次赴美，職協助全球系統組(**Global Systems Division**)實驗室撰寫 **GSI-POST** 部分，將 **GSI** 的初始場分析結果結合 **LAPS** 轉換成模式需要的格式，提供給不同的預報模式使用。而整個資料在氣壓和質量座標網格內插過程所產生的誤差，藉由提高垂直方向解析度和高階線性內插可以有效的降低誤差值，對提高初始場分析的準確度有很大的改善。

關鍵詞：格點統計內差(**Gridpoint Statistic Interpolation : GSI**)

目次

摘要	.....	i
目次	.....	ii
一、 目的	.....	1
二、 過程	.....	2
三、 心得	.....	5
(一)、 三維變分格點統計內插分析系統簡介	.....	5
(二)、 改進資料在座標轉換和網格內插過程所產生的誤差	.....	14
四、 建議	.....	17
參考文獻	.....	18
附圖	.....	19

一、 目的

準確的數值天氣預報結果有賴於準確的模式初始場，而資料同化在改善初始場分析則扮演舉足輕重的角色。目前三維變分資料同化(3DVAR)為最多作業單位使用的資料同化系統，因為它具有變分資料同化的特性和較四維變分資料同化節省計算資源的優點。近幾年美國國家環境預報中心(National Centers Environmental Prediction , NCEP)正在發展的三維變分格點統計內插分析系統—3DVAR Gridpoint Statistical Interpolation(Wu et al. 2002)，這是1套針對全球/區域(global/regional)的分析系統，可以同化不同類型的觀測資料，例如綜觀(synoptic)、雷達和衛星資料。對於背景誤差估計(background error estimate)採用了 NMC (National Meteorological Center)統計方法，有效改善初始場的分析，以提供較為準確的分析場供給預報模式做分析與預報之用。

此行赴美的主要目的是與美國國家海洋暨大氣總署(NOAA)所屬的地球系統研究實驗室(Earth System Research Laboratory)之全球系統組(Global System Division)，合作發展 GSI，並結合 LAPS 將分析的結果提供給不同的預報模式做天氣預報與分析使用。

二、 過程

職此次赴美行程及工作概述說明如下表：

日期	地點與相關工作內容
95/2/20	台北→洛杉磯
95/2/20	洛杉磯→丹佛→波德(Boulder)
95/2/21	赴美國國家海洋暨大氣總署(NOAA)所屬的地球系統研究實驗室(ESRL)之全球系統組(GSD)，與區域分析預報系統(LAPS)小組組長 John A. McGinley ，討論此行工作的目的與期望，隨即加入新成立的LAPS-GSI小組，由(LAPS)小組組長 John 安排合作小組人員及工作任務。
95/2/22~95/5/1	了解LAPS和GSI架構，開始撰寫GSI-POST程式，期間每週與謝元富博士針對GSI-POST 程式部分進行工作討論，並每兩週與LAPS - GSI小組進行工作進度的報告。
95/5/1~95/6/18	完成 GSI-POST 程式雛型架構，進行簡單測試，並交由資策會鄧秀明博士帶回氣象局著手安裝與測試。
95/6/19~95/6/22	參加美國大學大氣研究聯盟(UCAR)舉辦的第7屆 WRF Users' Workshop
95/6/23~95/8/16	加強GSI-POST的程式架構，驗證資料的正確讀入與輸出，並在不同的作業平台同步compiler測試，確保程式碼正確無誤。
95/8/17	波德(Boulder)→丹佛→洛杉磯
95/8/18	洛杉磯→台北

工作內容說明如下：

2-4 月份：在生活上安置妥當之後，旋即開始工作。

1. 經過與LAPS-GSI小組開會討論後確定LAPS-III的新架構(圖1)，並且訂出主要的工作項目與未來要完成的工作任務。
 - GSI data ingest:
 - Conventional Data (謝元富);
 - Radar data (鄧秀明);
 - Satellite data (Birkenheuer)
 - GSI error covariance:
 - Statistics (Lu and Kim);
 - Recursive filter (謝元富)
 - LAPS GSI post process: (鄭龍聰)
 - GSI Operation: (Albers and 謝元富)
2. 參與每週五與謝元富博士的工作討論。
3. 參與每日早上的天氣討論會，增加對當地天氣的了解以及其模式的使用經驗。
4. 參加入每兩週星期四下午的LAPS-GSI小組會議，報告工作進度。
5. 研讀 netcdf 說明文件，學習如何讀寫資料。了解 LAPS 與 GSI 的程式架構和流程，並開始著手撰寫 GSI post 程式。

5 月份：

1. 完成 GSI post 部分的雛形架構，初步將 GSI 的風場分析結果變數讀出，轉換成模式需要的資料格式。由於 GSI 資料的空間架構，在垂直方向是 mass-based 地形座標 $\eta = \frac{(\pi - \pi_t)}{\mu}$ ， $\mu = \pi_s - \pi_t$ ， π 是 hydrostatic pressure，s 代表地表而 t 代表大氣層頂， μ 是 column mass，網格採用 Arakawa C-staggering。為能提供給多種模式(WRF, MM5, RAMS, SFM, CDF)使用，必須使用 LAPS 輸出的整合程式，將資料轉成各模式需要的格式。因此必須先將 GSI

所讀出的變數轉成 LAPS 需要的 P 座標 un-stagger 的空間架構，並且寫入到 \$LAPS_DATA_ROOT 下 lapsprd 各變數的目錄區。

2. 由於職所負責的 GSI post 部分初步成果已完成，所以交予資策會鄧秀明博士於 5 月 1 日帶回氣象局，將 GSI 已開發的初步成果，協助衛星中心王溫和同步安裝與測試。

6 月份：

1. 增加 GSI post 新變數的讀寫，加入溫度場和溼度場。
2. 6 月 19 日至 6 月 22 日參加美國大學大氣研究聯盟 (The University Corporation for Atmospheric Research, UCAR) 舉辦之第 7 屆 WRF Users' Workshop，了解到今年 WRF 的發展，新的物理參數化的改進與預報經驗、3DVAR 的發展等。

7-8 月份：

1. 加強 GSI -POST 程式結構，使用高階線性內插，改進資料在空間轉換過中所造成的誤差。
2. 驗證和除錯 GSI 程式碼，確保資料在讀寫過程中的正確性。
3. 研讀 WRF 的文件說明，了解如何執行 GSI-WRF。
4. 與 John A. McGinley 進行最後的數次會面，報告此行的工作、所遇到的問題、建議及未完成之工作等，並交換本次來訪心得，並著手進程式及資料之打包工作。

三、 心得

三維變分格點統計內插分析系統—**3DVAR Gridpoint Statistical Interpolation**(Wu et al. 2002), 是 1 套針對全球/區域(global/regional) 的分析系統, 可以同化不同類型的觀測資料, 結合當地之觀測資料與模式背景場進行三度空間分析, 以提供 1 個描述大氣狀態的三度空間分析場並供給預報模式作分析與預報之用, 是 1 個短期預報作業上值得參考的工具。美國國家海洋暨大氣總署(NOAA)所屬的地球系統研究實驗室(Earth System Research Laboratory)之全球系系統組(Global Systems Division)目前正致力於此一分析預報系統的發展, 職此行有幸加入 GSI 小組與許多頂尖科學研究人員共事, 一方面得以學習對方豐富的模式經驗及工作經驗, 一方面對於 GSI 小組的溝通及管理方式亦感受深刻。在與謝元富博士對程式碼多次溝通與討論之下, 職得以完成 LAPS_GSI_POST 的撰寫與測試工作, 順利把分析結果提供模式使用, 並將結果於小組中報告討論, 並協助 GSD 完成一部分 LAPS-GSI 的建置工作。另外並參加第 7 屆 WRF 之學術討論會, 對模式之效能及預報應用有新的認識與了解。職此行進行的 LAPS_GSI_POST 程式碼撰寫工作中, 了解 GSI 的程式架構與資料類型, 順利達成任務交付。

(一). 三維變分格點統計內插分析系統 3DVAR Gridpoint Statistical Interpolation)簡介

GSI 是根據美國國家環境預報中心(NCEP)現有的波譜統計內插(Spectral Statistical-Interpolation, SSI)架構所建置, 其使用空間遞迴過濾(Spatial Recursive Filter)(Purser et al. 2003)處理背景誤差協方差, 是 1 個有很大彈性、非同質性(inhomogeneity)、非等向性(anisotropy)的分析系統。整個 GSI 分析系統的流程架構如圖 2。

1. 資料來源

GSI 需要的輸入資料型態

(1). 觀測資料(observations)

- 網站的參考資訊 (Dennis Keyser)
 - http://www.emc.ncep.noaa.gov/mmb/data_processing/data_processing/
- All* observations packed in BUFR
- 觀測資料的種類
 - 傳統資料(conventional data)
 - In-situ: soundings,AIREP, buoys, ...
 - Ex-situ: cloud drift winds, SSM/I wind speeds, QuikSCAT winds, profilers, ...
- 亮度溫度(Brightness temperature)
 - GOES-10, -12 sounder
 - POES Brightness temperature (Tb)
 - NOAA-14, -17 HIRS
 - NOAA-14 MSU
 - NOAA-15, -16 AMSU-A
 - NOAA-15, -16, -17 AMSU-B
- 臭氧(Ozone)
 - NOAA-16 SBUV/2
- 降雨率(Rain rates)
 - SSM/I & TRMM TMI
 - Currently 1.0° superobs

(2). 猜測值(guess)

- 區域(Regional)
 - Currently uses forecast valid at analysis time

- Single atmospheric & surface file (grid values)
- Binary (operational) or NetCDF format

■ 全球(Global)

- Currently uses 3, 6, 9-h forecasts spanning ± 3 -h time window about analysis time
- Separate atmospheric (spectral coefficients) & surface (grid values) files
- Binary format

Option exists to read up to 100 atmospheric/surface state guess files

(3). 校準值(fixed)

■ 背景值誤差

- 區域-Regional
 - regional_berror.f77
 - Contains default statistics for any regional domain
 - Statistics based on GFS (NCEP global model)
- 全球-Global (sigma)
 - global_berror.l\${levs}.y\${lats}.sig.f77
 - levs = 28 or 64
 - lats = 96 or 258 (corresponds to T62 and T254)

All background files are binary files

■ Community Radiative Transfer Model (CRTM)

- Binary files, one each for spectral and transmittance coefficients
 - global_spectral_coefs.f77

- global_transmittance_coefs.f77
- For more information see
 - <http://cimss.ssec.wisc.edu/~paulv/Fortran90/CRTM/Prototype/>
- InfraRed Sea Surface Emissivity (IRSSE) model
 - Single binary coefficient file
 - global_emissivity_coefs.f77
 - For more information see
 - http://cimss.ssec.wisc.edu/~paulv/Fortran90/Emissivity/Sensor_Emissivity_Model/

2. GSI 編譯

(1). 編譯語言

- Fortran 90/95

(2). Libraries (*info below based on NCEP AIX build*)

- NCEP libraries
 - BUFR → libbufr_d_64.a
 - Used to read observation files
 - W3 → libw3_d.a
 - Used to manipulate date/time
 - Splib → libsp_d.a
 - Used in global mode to perform grid ↔ spectral transforms
- Brightness temperature assimilation forward models
 - CRTM → libcrtm.a
 - Contains code for radiative transfer model and

jacobian

- IRSSE → libirsse.a
 - Contains code for IR sea-surface emissivity model

(3). Libraries (*based on NCEP AIX build*)

■ NetCDF

- 目前使用版本 3.5.0
- 網站資訊
<http://my.unidata.ucar.edu/content/software/netcdf/index.html>

■ WRF I/O

- 目前使用
 - \$(WRFPATH)/frame/internal_header_util.o
 - \$(WRFPATH)/frame/pack_utils.o
 - \$(WRFPATH)/main/libwrflib.a
 - \$(WRFPATH)/external/io_int/libwrfio_int.a
 - \$(WRFPATH)/external/io_netcdf/libwrfio_nf.a
- 網站資訊 <http://www.wrf-model.org/>

(4). 依賴機器的架構檔案(Machine dependent configuration files)

■ 目前有支援的機器架構

- Makefile.conf.AIX
- Makefile.conf.AIX.omp
- Makefile.conf.IRIX
- Makefile.conf.IRIX64
- Makefile.conf.Linux

- Makefile.conf.Linux.IA64.ifort
- Makefile.conf.OSF1
- 假如機器環境非上面所列，我們必須創造一個適合自己的環境 Makefile.conf.YOUR_MACHINE

(5). GSI-make

- 簡單的 make
 - 確認自己機器所適合的架構檔案
 - 安裝 GSI libraries
 - 編輯 compiler、安裝需要的選項、library、包括路徑和檔名
 - 在原始路徑編輯./configure
 - Links Makefile → makefile
 - Links Makefile.conf 給適合的架構檔案
 - 打上指令 “make” or “make -f makefile”
- 成功的安裝編譯會產生 global_anl 這個執行檔

3. 分析方程

三維資料同化的目的就是要產生在分析時間對於真實大氣狀態的最佳估計，其主要經由極小化代價函數(cost function)而來
 代價函數(J) = 背景項(J^b) + 觀測項(J^o) + 約束項(J^c)

$$J = \frac{1}{2}(x - x^b)^T B^{-1}(x - x^b) + \frac{1}{2}(H(x) - y^o)^T (E + F)^{-1}(H(x) - y^o) + J^c$$

J = Fit to background + Fit to observations + constraints

x = 分析場(analysis)

x^b = 背景場(background)

B = 背景誤差協方差(background error covariance)

H = 觀測操作子(observation operator)

y^o = 觀測場(Observations)

E+F= R = 儀器觀測誤(instrument error) + 表示誤差
(representativeness error)

J^c = 約束項(constraint term)

4. GSI 的分析場

GSI 分析完後會將分析場資訊寫到 wrf_inout 這檔案。其為 netcdf 資料格式，內容如下。

(1). 維度(dimensions)

- Time = UNLIMITED; //(1 currently)
- DateStrLen = 19
- west_east_stag = 153 → 水平東西方向網格數
- south_north_stag = 141 → 水平南北方向網格數
- bottom_top_stag = 21 → 垂直方向網格數
- west_east = 152
- south_north = 140
- bottom_top = 20
- soil_layer_stag = 4 → 土壤層數
- ext_scalar = 1

(2). 變數(variables)

- char Times → 時間
- float U → X_Wind_Component X 方向的風場
- float V → Y_Wind_Component Y 方向的風場
- float T → Perturbation_Potential_Temperature(theta-t0)

- float MU → Perturbation_Dry_Air_Mass_In_Column (pascals)
- float MUB → Base_State_Dry_Air_Mass_In_Column (pascals)
- float QVAPOR → 比濕
- float MAPFAC_M → Map_Scale_Factor_On_Mass_Grid
Mass 座標上地圖尺規係數
- float P_TOP → P 座標頂的數值
- float ZNU → Eta_Values_On_half_Levels 在 mass 座標 eta 值
- float ZNW → Eta_Values_On_Full_Levels 在 P 座標 eta 值
- float XLAT → Latitude 緯度
- float XLONG → Longitude 經度
- float RDX → Inverse X Grid Length
- float RDY → Inverse_Y_Grid_Length
- float PHB → Base_State_Geopotential 基本位勢高
- float LANDMASK → Land_Mask 陸地遮蔽比
- float XICE → Sea_Ice 海冰
- float SST → Sea_Surface_Temperature 海平面溫度
- int IVGTYP → Vegetaion_Type 植被型態
- int ISLTYP → Soil_Type 土壤型態
- float VEGFRA → Vegetation_Fraction 植被比
- float SNOW → Snow_Water_Equivalent 雪水含量
- float U10 → U_at_10m 離地 10 公尺的東西方向風速(m/s)
- float V10 → V_at_10m 離地 10 公尺的南北方向風速(m/s)

- float SMOIS → Soil _Moisture 土壤溼度
- float TSLB → Soil _Temperature 土壤溫度(K)
- float TSK → Surface _Skin _Temperature 地表溫度(K)

(3). 屬性說明(attributes)

- TITLE="LAPS BACKGROUND INGEST"
- START_DATE="2006-02-22_21:00:00"
- WEST-EAST_GRID_DIMENSION=153
- SOUTH-NORTH_GRID_DIMENSION=141
- BOTTOM-TOP_GRID_DIMENSION=21
- GRIDTYPE="C"
- WEST-EAST_PATCH_START_UNSTAG=1
- WEST-EAST_PATCH_END_UNSTAG=152
- WEST-EAST_PATCH_START_STAG=1
- WEST-EAST_PATCH_END_STAG=153
- SOUTH-NORTH_PATCH_START_UNSTAG=1
- SOUTH-NORTH_PATCH_END_UNSTAG=140
- SOUTH-NORTH_PATCH_START_STAG=1
- SOUTH-NORTH_PATCH_END_STAG=141
- BOTTOM-TOP_PATCH_START_UNSTAG=1
- BOTTOM-TOP_PATCH_END_UNSTAG=20
- BOTTOM-TOP_PATCH_START_STAG=1
- BOTTOM-TOP_PATCH_END_STAG=21
- DX=9313.789F
- DY=9313.789F

(4). 資料檔(data)

- Times="2006-02-22_21:00:00"

■ U=-10.71032,.....

.....

(二). 改進資料在座標轉換和網格內插過程所產生的誤差

1. 資料為何做座標轉換和網格內插

由於 GSI 資料空間架構，垂直方向是採用可以處理地形變化的 mass-based 地形座標 $\eta = \frac{(\pi - \pi_t)}{\mu}$ ， $\mu = \pi_s - \pi_t$ ， π 是 hydrostatic pressure，s 代表地表而 t 代表大氣層頂， μ 是 column mass，網格採用 Arakawa C-staggering。所以提供給 GSI 分析的資料必須轉換為對應的格式。而分析後的輸出資料，它的空間架構仍為 mass 座標，C-staggering 交錯網格，因此資料如未做座標轉換(mass→P)和 unstagger 過程，能讓預報模式直接使用的只有 WRF。為了讓資料更有彈性，能提供給多種模式(WRF, MM5, RAMS, SFM, CDF)使用，必須將分析結果的資料再做一次座標(mass→p)和網格內差(unstagger)的處理，以符合 LAPS 使用的資料格式。

2. 如何減小誤差所帶來的影響

當 1 個非代數的數學運算需要使用計算機計算時，必須將其轉換為代數運算。某些函數需使用無窮級數近似，因為計算資源的考量，不可能算至無窮多項，所以會有截斷誤差(truncation error)的產生。一般而言 1 次的捨入誤差或某些項的截斷誤差的誤差值並不會很大，因此不會對計算結果造成大的影響。但是在使用疊代法(Iteration)的數值方法中、或大量運算的數值方法中，此些微小的誤差會累積或被放大，以至於造成計算結果不合理。

誤差增加的原因有 2：

- 是數值方法本身有放大誤差的因子。
- 是計算次數過多，誤差累積。

而在內插的過程當中，有 2 個問題必須被考慮到：

- 資料點的密度對內插結果精確度的影響。
- 哪 1 種內插方法在統計及空間上的精確度較高？

因此進行以下的測試和改進：

選取以下都未經過 GSI 分析的兩種不同背景場做比較。

- 未經過座標轉換和網格內插處理的背景場(原始的背景場)
- 經過座標轉換($P \rightarrow \text{mass} \rightarrow P$)、網格內插(stagger \rightarrow unstagger)處理過的背景場

由於高層並沒有觀測資料，只是單純原始背景場和經過座標($P \rightarrow \text{mass} \rightarrow P$)網格(stagger \rightarrow unstagger)處理過的背景場做比較，來驗證經過座標網格內插後的資料會有多大的差異產生。另外針對這誤差要如何去改善減小，做了以下的兩點改進和測試：

(1). 提高垂直座標的解析度

圖 3 是垂直網格在未加密前的水平風(U)分析場(經過座標和網格內插處理過的背景場)和原始水平風(U)背景場相減的結果。從圖中可以看出兩者的相減誤差值，介於-7~5.7(m/s)之間，有大的誤差值區域主要分布在 100-300mb、400-500mb、800-950mb 之間，其中最大的誤差值出現在高層的 100-300mb 之間高達 7m/s，而 400-500mb 和 800-950mb 也有平均約 2.2m/s 的誤差值。圖 4 是垂直網格密度增加 3 倍的相減比較，明顯可以看出大誤差值的

範圍減小，只剩 100-200mb 之間有大的誤差，而以 150mb 附近的值最大高達 6.9m/s，而其他中低層區域並沒有明顯大的誤差，顯示兩個背景風場在中低層的數值相近，可見提高解析度確實可以達到減小座標網格內插所產生的資料誤差影響。另外從圖 3 圖 4 兩張圖的變化可以發現，最大誤差區仍然存在 150mb 層附近，並沒有因為提高解析度(網格加密)而有所改善。從圖 5 兩者疊加的比較圖來看，可以發現兩者的等值線有很大的落差，可見在高層網格內插上出了問題。因此針對此嚴重落差的問題，決定從程式碼開始除錯，確認是否在程式結構上有錯誤，最後發現這是 P 座標內插到 mass-based 的地形座標上，在程式的函數變數對應上有錯誤，才會導致有這麼大的誤差值持續的保持在 150mb 高層附近。最後經過程式上的修正，誤差大小有比較改善如圖 6，原先有最大誤差值的 150mb 區域，誤差數值已減小至只剩 0.5m/s，但在 300mb 這層仍有最大誤差出現，但數值已減小為 3m/s，比原先未修正前 6.9m/s 減小了 1 倍以上。

(2). 使用高階線性內插

由於提高解析度的方法在讓誤差值變更小的改善上仍有程度上的限制，畢竟過高的解析度對電腦運算上是很大的負擔，不僅費時也費工。接下來針對目前使用的內插方法去做改進。而目前使用的內插方法是使用最簡單的一維線性內插，先假設在 2 個已知數據中的變化為線性關係，因此可由這已知的 2 點座標去計算通過這 2 點的斜線，進而求得內插的值。但其適用範圍很小，因為假設數據點之間為線性變化，因此不適用於數據函數有極大變化的情況。所以必須利用 2、3 或 4 次的高階方程式函數，以得到 1 個平滑的內插曲線，來近似原來數據的函數，藉此求得較近似的內插值。圖 7 為使用高階內插所得到的相減比較圖，可以發現最大誤差值為 1m/s，比只增加解析度改進所產生的最大誤差值 3m/s 再減小 3 倍以上。另外從圖 8 的疊加比較圖來看，可以更清楚發現兩者間的差距已變很小，線與線之間已幾乎可以很準確的疊合，可見利用高階方程式的內插確實有達到減小誤差的效果。

四、 建議

劇烈天氣的極短時天氣預報，為落實氣象防災、減災的重要工作；就台灣地區地理特性而言，劇烈降水所引發之土石流、山崩及淹水等，正是當前造成人民生命財產損失的主要天然災害。因此，做好定量降水預報，為氣象界所共同面臨的挑戰與任務。職本年度奉派與NOAA/GSD合作發展之格點統計內差(GSI)，是1個能在分析時間對於真實大氣狀態產生最佳估計之三維變分(3DVAR)分析方法。然而，整個分析系統尚未完全完成，只能算是雛型系統。因此職就研究之心得有以下幾點淺見提供參考。

1. 目前整合到系統的觀測資料只有傳統觀測資料(探空、船舶、測站觀測資料)及雷達資料，衛星資料目前還未導入分析系統，對於初始場的分析上是不夠的。
2. 目前 GSI 分析系統是冷啟動(cold-start)的分析方法，為能因應極短時預報作業上的需要，需要加入熱啟動(hot-start)，增加對雲水及雲冰的分析。
3. 背景誤差協方差(background error covariance)的統計是需要耗費相當大的計算資源，如何有效的得到代表性背景誤差是很重要的。

極短時天氣預報及定量降水預報的問題極為困難且複雜，分析系統的設計和程式的撰寫上也不是一蹴可及，唯有不斷研究改進，才能持續提升預報準確度。

參考文獻

Purser, R. J., W.-S. Wu, D. F. Parrish, and N. M. Roberts, 2003: Numerical aspects of the application of recursive filters to variational statistical analysis. Part II: Spatially inhomogeneous and anisotropic general covariances. *Mon. Wea. Rev.*, 131, 1536-1548.

Wu, W.-S., R. J. Purser, and D. F. Parrish, 2002: Three-dimension variational analysis with spatially in homogeneous covariances. *Mon. Wea. Rev.*, 130, 2905-2916.

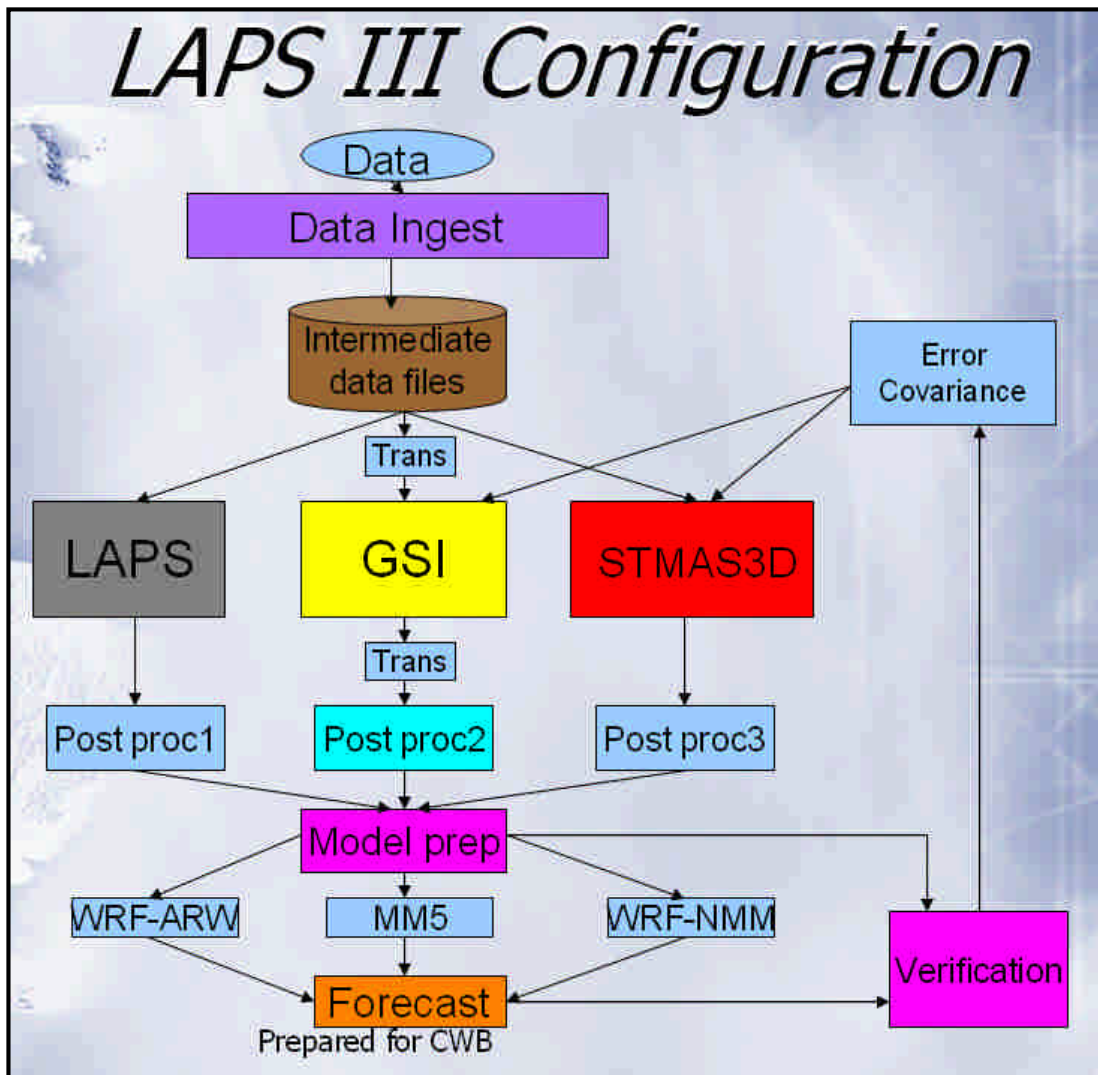


圖 1 : LAPS-III 架構

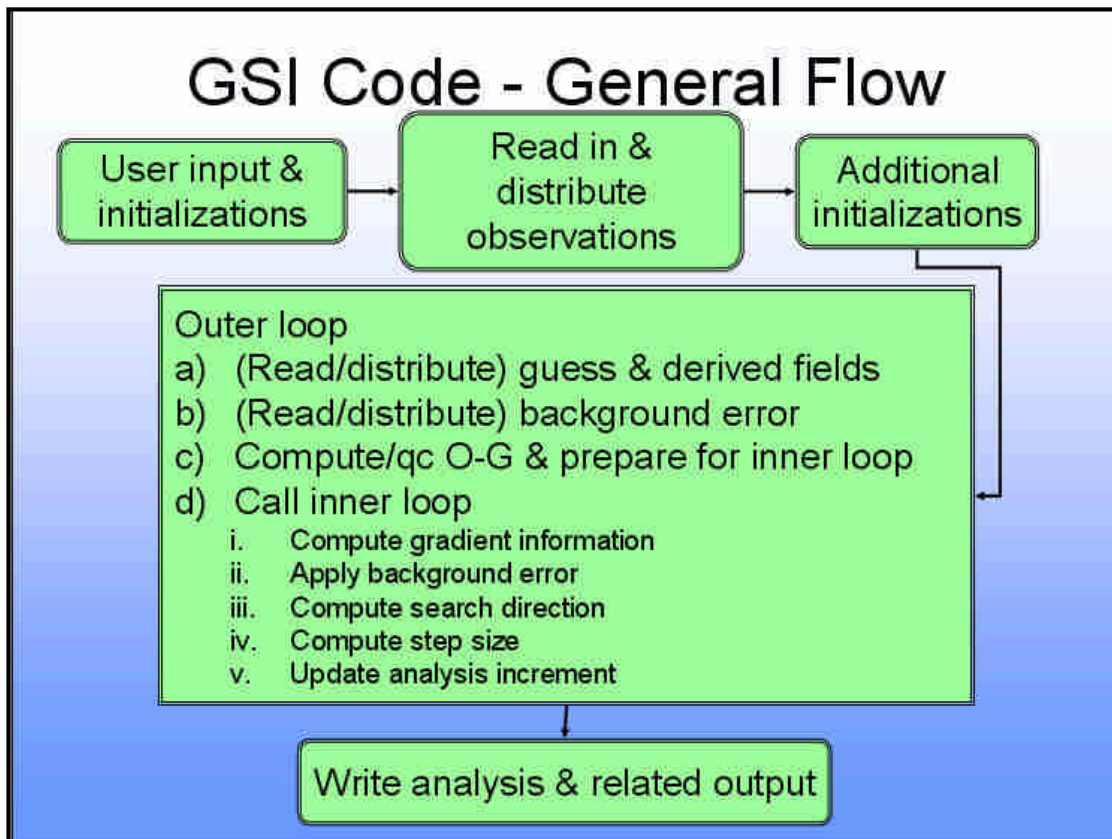


圖 2：GSI 流程圖架構

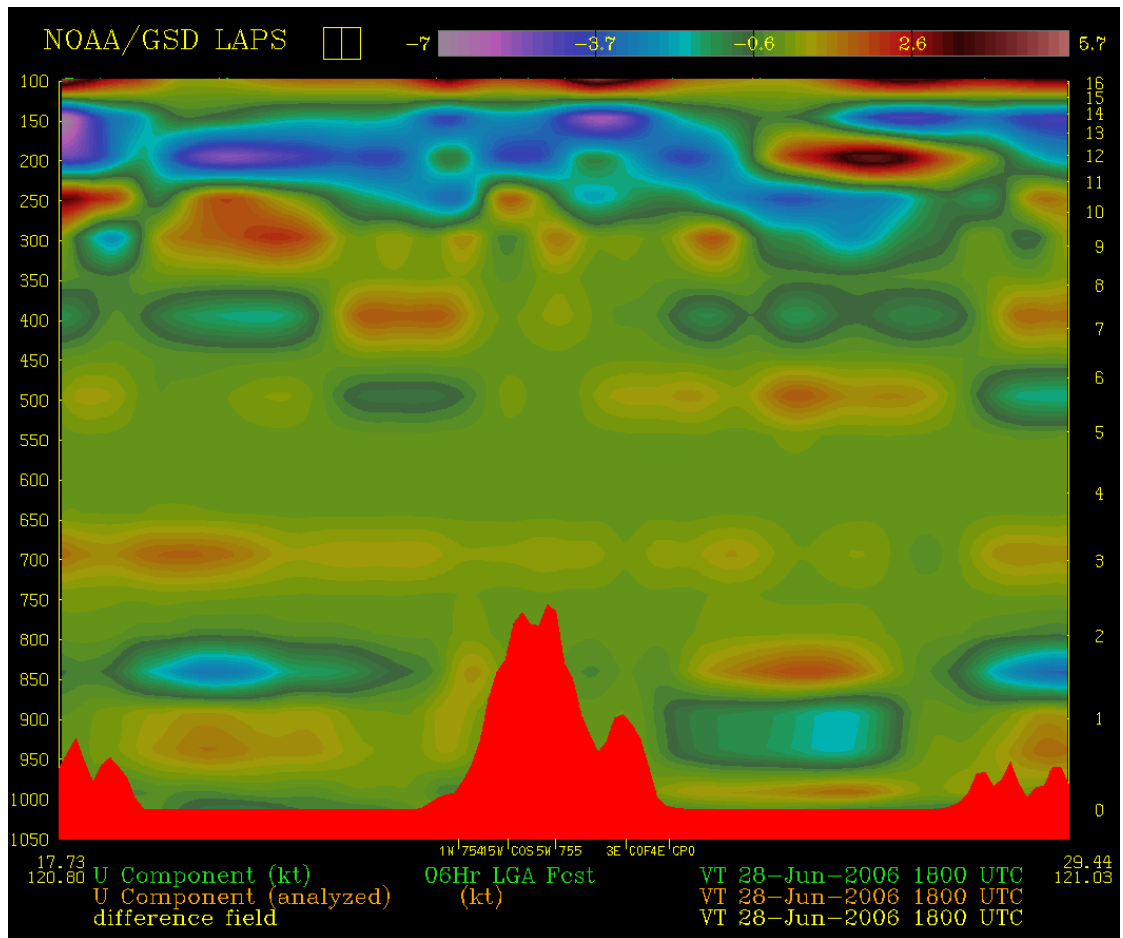


圖 3：未加密前的水平風(U)分析場(經過座標和網格內插處理過的背景場)和原始水平風(U)背景場相減比較結果

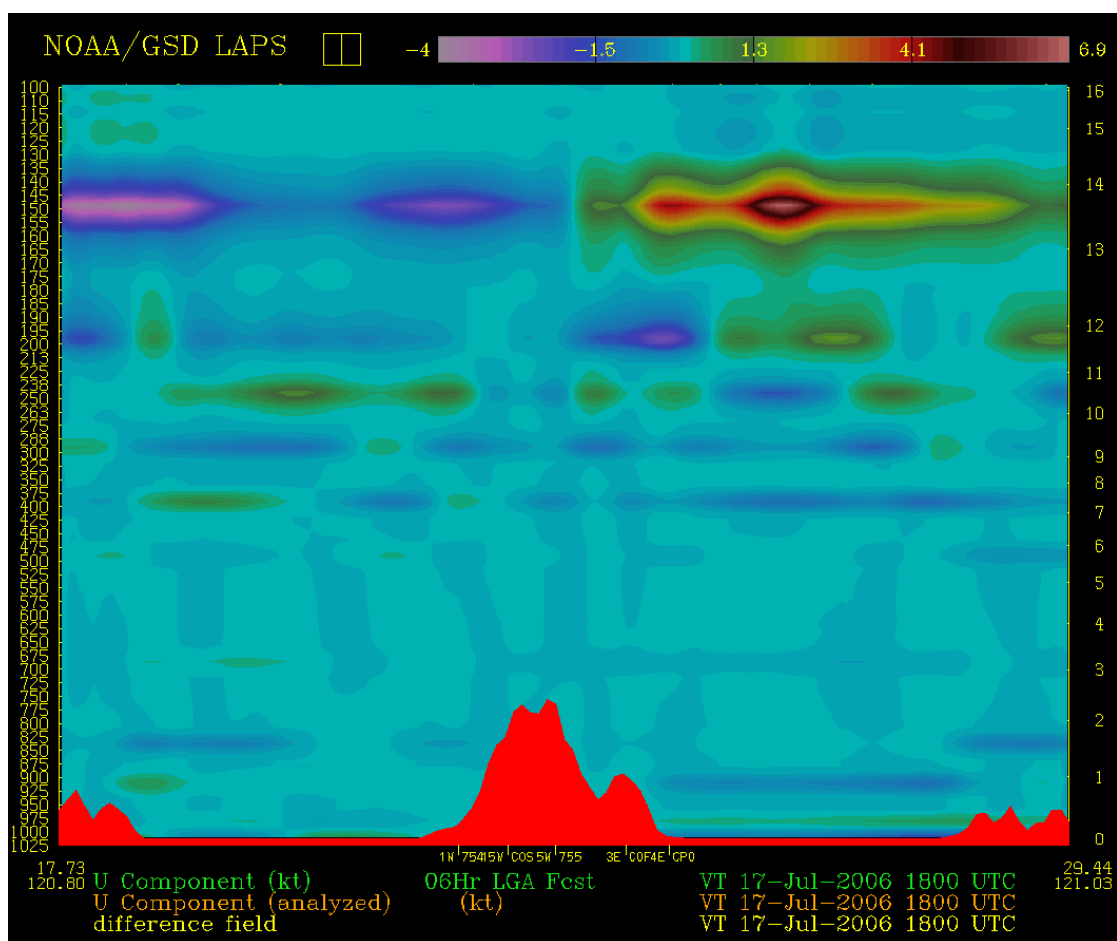


圖 4：垂直網格密度增加 3 倍的水平風(U)分析場(經過座標和網格內插處理過的背景場)和原始水平風(U)背景場相減比較結果

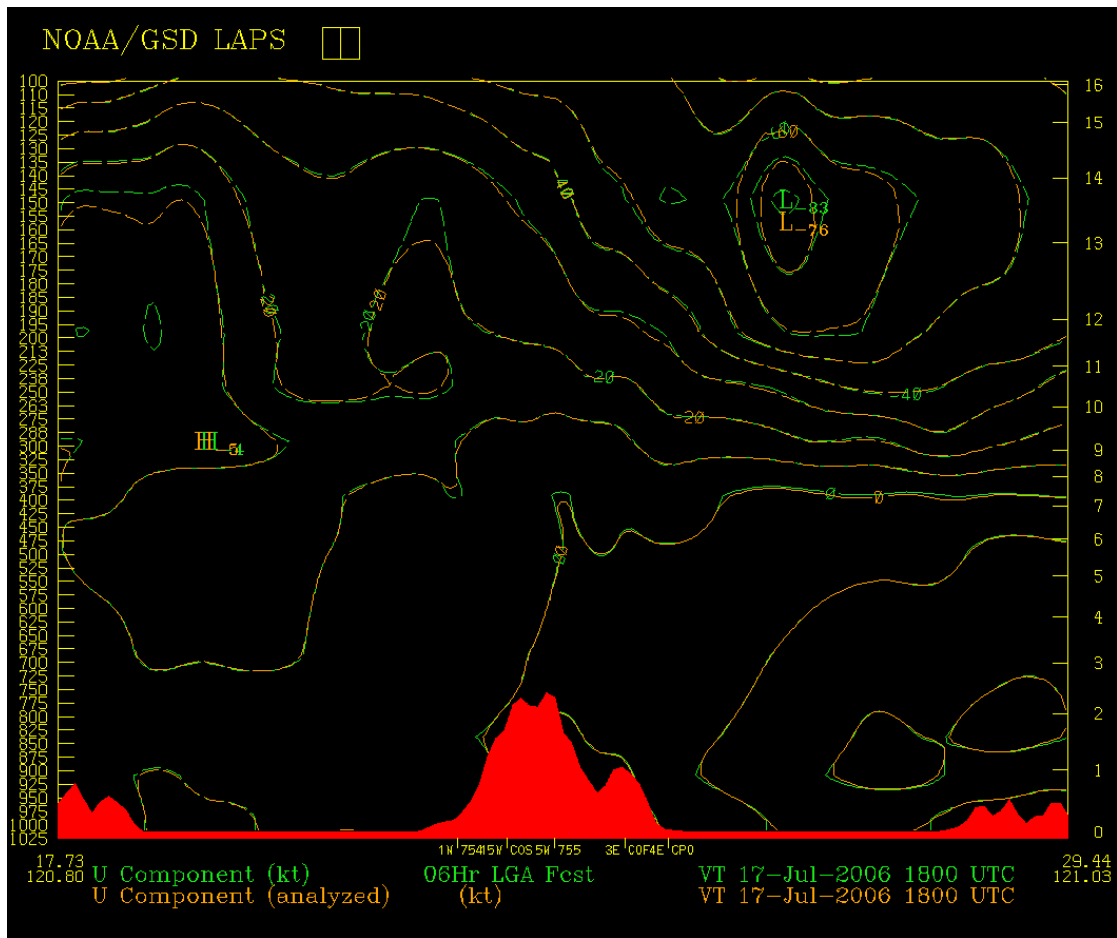


圖 5：垂直網格密度增加 3 倍的水平風(U)分析場(經過座標和網格內插處理過的背景場)和原始水平風(U)背景場疊加的比較結果

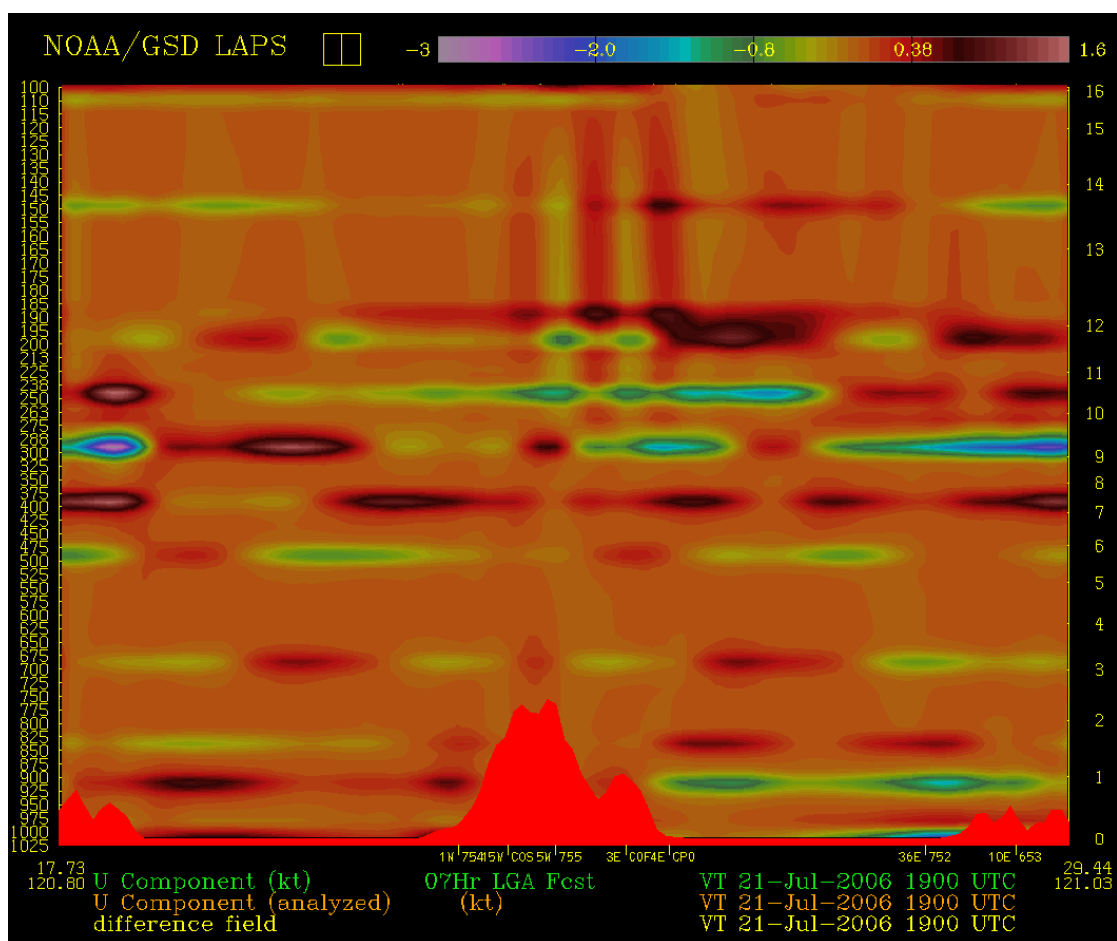


圖 6：經過程式修正、垂直網格密度增加 3 倍的水平風(U)分析場(經過座標和網格內插處理過的背景場)和原始水平風(U)背景場相減的比較結果

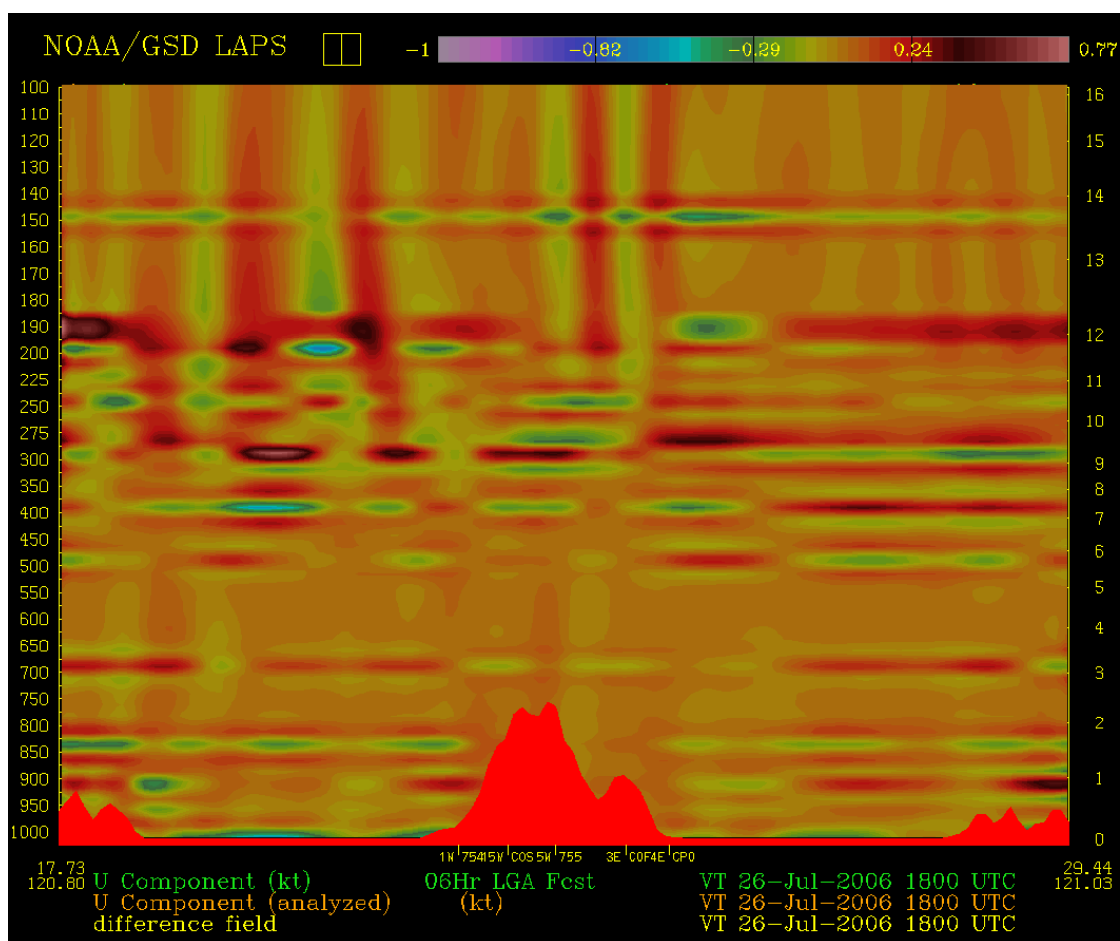


圖 7：使用高階內插、垂直網格密度增加 3 倍的水平風(U)分析場(經過座標和網格內插處理過的背景場)和原始水平風(U)背景場相減的比較結果

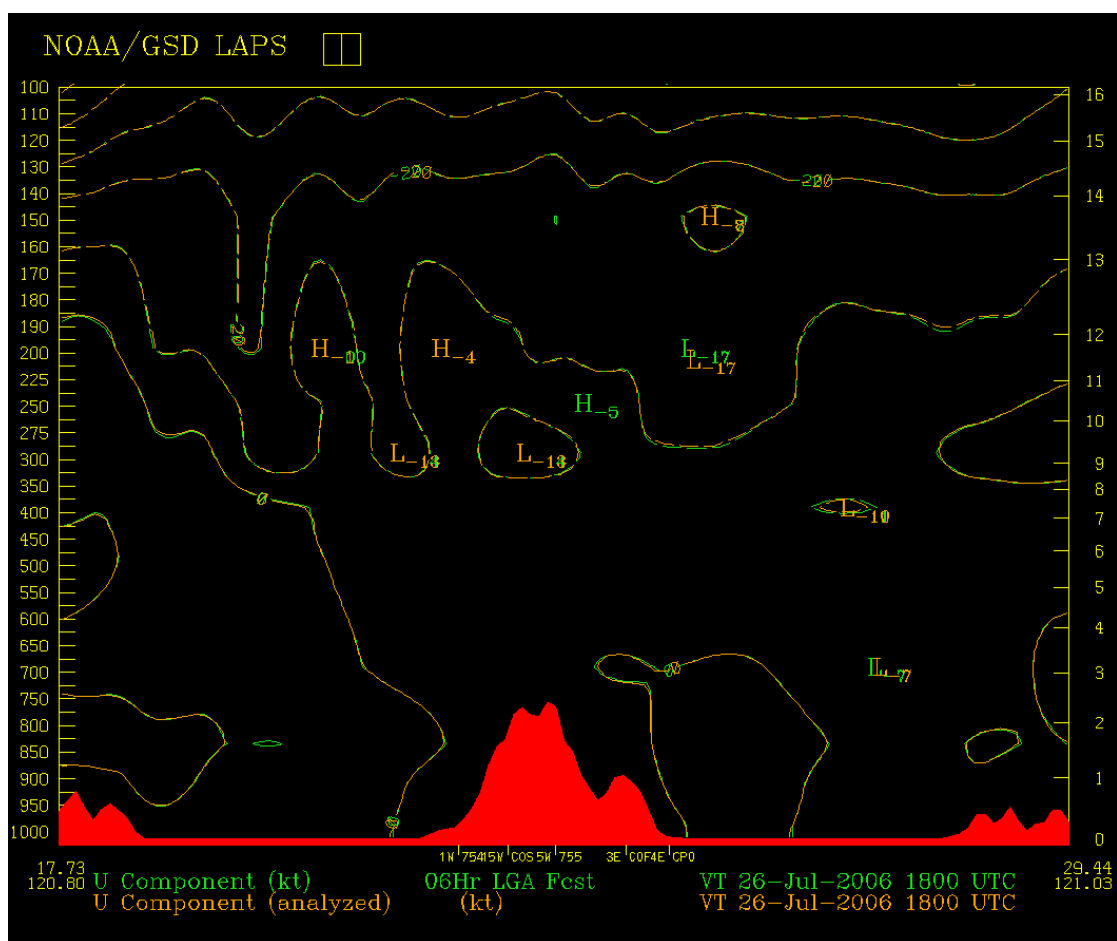


圖 8：使用高階內插、垂直網格密度增加 3 倍的水平風(U)分析場(經過座標和網格內插處理過的背景場)和原始水平風(U)背景場疊加的比較結果