

出國報告（出國類別：開會）

赴美國參加 2024 年超級電腦大會 (SC Conference2024)

服務機關：交通部中央氣象署

姓名職稱：沈里音副組長、莊惟然科長、

陳婉瑜科長

派赴國家：美國

出國期間：113 年 11 月 16 日至 22 日

報告日期：114 年 2 月 22 日

摘要

為更深入瞭解對高速運算電腦軟硬體之最新發展與應用，中央氣象署（以下簡稱氣象署）派員參加於美國舉辦之 2024 超級電腦大會(Supercomputing conference 2024, SC24, The International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage, and Analysis)。

此會議為高效能運算、高速網路、儲存與數據運算分析國際會議，會議期間與來自世界各地的專家學者及技術領先的高速運算電腦公司進行交流，深入了解高效能運算的最新發展趨勢與應用技術，期能優化氣象署的系統架構與效能，藉由參與此國際會議，掌握高效能運算系統架構的發展方向。

本次會議於 113 年 11 月 17 日至 22 日在美國喬治亞州亞特蘭大市的喬治亞世界會議中心舉行，期間根據參加者的身分與議題類型，分以不同形式的討論或會議進行，例如：教程(tutorial)、工作坊(workshop)、討論群(Birds of a Feather)……等；議題類別則分為高速運算電腦硬體(如：加速器、記憶體……等)、網路、儲存設備、資源控管、軟體(如：編譯器、平行化、演算法、框架、效能評估……等)、資料(壓縮、格式、寫入寫出……等)、人工智慧、雲端資源、機房環境設施及異質運算……等。氣象署自 1987 年起引進第 1 代 CDC CYBER205 高速運算電腦，迄今已完成第 6 代高速運算電腦建置並上線運作，在高速運算電腦提供的高效算力下，發展全球、區域及系集等天氣與氣候等預測模式，以作為天氣、氣候預報之客觀指引。未來將依氣象科技及電腦技術發展狀況，持續更新高速運算電腦，以符合國人對於更精準、延時更長的氣象預報需求，因此需持續了解高速運算電腦發展脈絡、環境建置、系統架構、網路傳輸、軟體效能及可移轉性的新興技術。

本次會議除以研討會方式進行外，為展示各廠商的技術能力，會議期間(113 年 11 月 19 日至 21 日)世界各國的高速運算電腦及周邊軟、硬體廠商也同時

舉辦展覽，透由廠商說明並展示不同技術，使氣象署對於高速運算電腦之軟硬體發展趨勢有所理解，有助於未來所需之高效能運算系統架構之規劃參考。

目錄

壹、	目的	4
貳、	過程	5
一、	2024 年超級電腦大會 (SC Conference2024)簡介	5
二、	研討會演講摘錄	8
1.	計算核心.....	8
2.	異質運算.....	10
3.	系統運營.....	13
4.	軟體移轉.....	13
5.	工作流程.....	14
6.	展場交流.....	15
參、	心得與建議	20
肆、	附錄 1：會議議程(工作坊)	23

壹、 目的

2024 年超級電腦大會 (Supercomputing conference 2024) 為國際高效能運算、網路、儲存和分析會議，超級電腦大會自 1988 年起約每年舉行一次，2024 年度於美國喬治亞州亞特蘭大市國喬治亞世界會議中心，共計 18,104 名出席者及 494 家參展商，本次會議的主題是表現高速運算電腦在推動跨行業變革性解決方案，並激發次一世代創新突破性的解決方案(HPC' s power to drive transformative solutions across industries and inspire the next generation of breakthroughs)。

會議型態共分 3 種類型，第 1 種是展覽，由世界各國在高速運算電腦及周邊設備與軟體的廠商設展；第 2 種是工作坊，針對高速運算電腦的議題分門別類的討論；第 3 類是教程，對於高速運算電腦軟硬體特定項目有興趣者實作學習課程。

氣象署為滿足各界對於氣象預報更精準與預報時間更長的需求，長期投入各式氣象測報技術，其中持續精進以物理科學為基礎的數值氣象預測模式作業最為關鍵，這些用於預報作業的數值天氣測報模式大量資料，需透過高速運算電腦、高效的儲存設備與高速網路方能即時運算並將資料即時傳輸。氣象署目前正申請「數值天氣測報高速運算電腦建設計畫(草案)」，將建置適足的高速運算電腦計算量能、提升網路通訊頻寬與強化資安防禦、機房建置及週邊機電設施建置、開展人工智慧/機器學習及 GPU 為基礎的新世代氣象預測模式。爰此，因應氣象署業務特性，由數值資訊組沈里音副組長、莊惟然科長與陳婉瑜科長參加 2024 年超級電腦大會，並參與其中的工作坊與高速運算電腦展覽，藉由參與研討會、工作坊吸收先進的高速運算電腦軟、硬體技術，並與廠商交流技術以了解各類高速運算電腦議題，如：機房建置、冷卻設備、高速運算電腦晶片核心、網路、儲存設備、人工智慧技術應用等。

貳、 過程

一、 2024 年超級電腦大會 (SC Conference2024)簡介

電腦協會(Association for Computing Machinery (ACM))和 IEEE 電腦學會(IEEE Computer Society)自 1988 年起為促進國際高性能計算、網絡、儲存和分析的交流舉行的活動，吸引來自全球的科學家、研究人員、教育人士、軟體工程師和開發人員參加。會議的主要目的是分享高效能運算領域的突破、實踐、展示最新的技術創新，並提供各領域人員交流的機會。

2024 年的超級電腦大會 (Supercomputing conference 2024)在美國喬治亞州，詳細議程請參考附錄 1，本次行程安排及工作摘要如下表 1：

表 1 行程安排及工作摘要

日期	地點	工作摘要
113年11月15日	臺北-美國	赴美國喬治亞州
113年11月16-22日	美國喬治亞州	至亞特蘭大喬治亞世界會議中心參加會議並與來自世界各地的專家學者及技術領先的高速運算電腦公司進行交流
113年11月22日	美國喬治亞州- 美國洛杉磯	搭機至洛杉磯(轉機)準備返台

會議型態共分 3 種類型，第 1 種是展覽，由世界各國在高速運算電腦及周邊設備與軟體的廠商設展；第 2 種是工作坊，針對高速運算電腦的議題分門別類的討論；第 3 類是教程，對於高速運算電腦軟、硬體特定項目有興趣者實作學習課程，氣象署與會人員參與前 2 種，藉由參與工作坊，了解高速運算電腦目前面臨的重要議題，並參加高速運算電腦廠商展覽與廠商交流，以獲得最新發展資訊。

聚集不同領域之學者、專家、工程師、業界等成員進行特定議題的討論，因此於多個地點同時進行工作坊，會議期間工作坊數量高達 44 個，經彙整工作坊的議題後，氣象署與會者參與的議題與對應的工作坊名稱摘要如表 2。

表 2 工作坊名稱與議題列表

議題	工作坊名稱
計算核心	● PMBS24: 第 15 屆高性能計算系統性能建模、基準測試和模擬國際研討會(PMBS24: The 15th International Workshop on Performance Modeling, Benchmarking, and Simulation of High-Performance Computer Systems)
異質運算	● 第 15 屆大規模異構系統可擴展算法進展研討會 (ScalAH'24)15th Workshop on Latest Advances in Scalable Algorithms for Large-Scale Heterogeneous Systems (ScalAH'24) ● 下一代人工智慧和混合分析高性能計算系統的共同設計 (Co-design of Next-Generation HPC Systems for Artificial Intelligence and Mixed-Analytics) ● 第 11 屆加速器編程和指令研討會 (WACCPD 2024)(Eleventh Workshop on Accelerator Programming and Directives (WACCPD 2024))
系統運營	● 高速運算系統專家工作坊(HPCSYSPROS24) (HPC Systems Professionals Workshop (HPCSYSPROS24)) ● 高速運算系統中的倫理、社會和政策問題(Ethical, Social and Policy Issues in HPC)

	● 第 4 屆互動和緊急狀況下高速運算系統聯合研討會(Fourth Combined Workshop on Interactive and Urgent HPC)
軟體移轉	● 第 8 屆高效能計算應用軟體正確性國際研討會 (Correctness '24)(8th International Workshop on Software Correctness for HPC Applications (Correctness '24)) ● 2024 年高效能計算、可移植性和生產力國際研討會(2024 International Workshop on Performance, Portability, and Productivity in HPC) ● 第 2 屆高性能計算系統、工具和軟體測試與評估國際研討會 (HPCTESTS 2024)(Second International Workshop on HPC Testing and Evaluation of Systems, Tools, and Software (HPCTESTS 2024))
工作流程	● XLOOP 2024：第 6 屆巨量規模實驗循環計算年度研討會 (XLOOP 2024: The 6th Annual Workshop on Extreme-Scale Experiment-in-the-Loop Computing) ● 第 19 屆支援大規模科學工作流程研討會 (WORKS24) The 19th Workshop on Workflows in Support of Large-Scale Science (WORKS24) ● HUST-24：第 11 屆高性能計算使用者協助工具國際研討會 (HUST-24: 11th International Workshop on HPC User Support Tools)
資料管理	● PDSW24：第 9 屆國際並行數據系統研討會(PDSW24: The 9th International Parallel Data Systems Workshop)

	● 下一代平台上的通信、I/O 和儲存---可擴展基礎設施 (Communication, I/O, and Storage at Scale on Next-Generation Platforms - Scalable Infrastructures) ● 第 10 屆數據分析和科學資料減量國際研討會(The 10th International Workshop on Data Analysis and Reduction for Big Scientific Data)
平行化	● ExaMPI：Exascale MPI 研討會(ExaMPI: Workshop on Exascale MPI) ● 第 7 屆平行計算應用研討會，MPI+X 的替代方案 (PAW-ATM 2024)(The 7th Annual Parallel Applications Workshop, Alternatives To MPI+X (PAW-ATM 2024))
資通安全	● 第 3 屆高速計算的網路安全國際研討會 (S-HPC 2024)(Third International Workshop on Cyber Security in High Performance Computing (S-HPC 2024))

本次研討會除上述議題外，也另有人工智慧相關應用議題(數位孿生、大語言模型、圖形學習、多模態資料集…等)、程式編撰工具(記憶體使用、平行化設計…等)與人員培訓教育等議題，涵蓋高速運算電腦環境、軟硬體、資料、網路的技術討論，所有議程詳附錄 1。

二、 研討會演講摘錄

依據前述議題分類，研討會工作坊與氣象署業務相關的演講內容綜整如下：

(一.)計算核心

講題：微架構比較與先進 CPU 的核心內建模：Grace、Sapphire Rapids 和

Genoa(Microarchitectural Comparison and In-Core Modeling of State-of-the-Art CPUs: Grace, Sapphire Rapids, and Genoa)

德國愛爾朗根國家高速運算電腦中心的專家 Jan Laukemann 比較市面上 3 個品牌的 CPU 效能，分別是 AMD 的 Genoa、Intel 的 Sapphire Rapids 與 NVIDIA 的 Grace，3 個不同品牌的 CPU 晶片在計算核心、頻率、能耗、記憶體儲存效率的設計規格上不同(圖 1 為 3 個廠牌晶片比較)。

	Nvidia Grace Superchip "GCS"	Intel Xeon Platinum 8470 "SPR"	AMD EPYC 9684X "Genoa"
Cores	72	52	96
Frequency (max/base)	3.4 GHz / 3.4 GHz	3.8 GHz / 2.0 GHz	3.7 GHz / 2.55 GHz
Theor. DP Peak	3.92 Tflop/s	6.32 Tflop/s	8.52 Tflop/s
Achiev. DP Peak	3.82 Tflop/s	3.49 Tflop/s	5.1 Tflop/s
TDP	250 W	350 W	400 W
Cache size (L1/L2/L3)	64 KB / 1 MB / 114 MB	48 KB / 2 MB / 105 MB	32 KB / 1 MB / 1152 MB
Main memory	240 GB LPDDR5X	512 GB DDR5	384 GB DDR5
ccNUMA domains	1	4 (SNC-mode)	1 (up to 4 configurable)
Max. mem bandwidth (theor. / measured)	546 GB/s / 467 GB/s	307 GB/s / 273 GB/s	461 GB/s / 360 GB/s

TABLE I
COMPARISON OF THE CORE FEATURES OF THE GRACE CPU SUPERCHIP (GCS), THE INTEL XEON PLATINUM 8470 (SPR), AND THE AMD EPYC 9684X (GENOA). FOR ALL SERVERS, THE L1 AND L2 CACHE ARE EXCLUSIVE CACHES PER CORE, WHILE THE L3 IS SHARED WITHIN ONE CHIP.

圖 1：3 個不同品牌的 CPU 晶片規格(Jan Laukemann, Georg Hager, Gerhard Wellein(2024), Microarchitectural comparison and in-core modeling of state-of-the-art CPUs:Grace, Sapphire Rapids, and Genoa, <https://sc24.supercomputing.org/>)

Jan Laukemann 捨棄使用既有的 Benchmark 測試方法，而是透過自行撰寫測試程式，比較在單一核心內各晶片的表現，在其測試中，當 CPU 將數據寫入內存記憶體時，如果數據沒有在 L1 快取中，就需要先從內存記憶體中讀取相應的快存取，然後再寫入，這個過程叫做「寫入分配」(write-allocate (WA))，這會增加內存流量，可能影響 CPU 性能。故要比較各個晶片在執行「寫入分配」(write-allocate (WA))的成本，需減少這種不必要的內存讀取操作，從而提高運算效能。

根據實驗結果，比較實際內存流量與存儲數據量比率(圖 2 縱軸)和所使用的核心數(圖 2 橫軸)。實際內存流量除以存儲數據量(圖 2 縱軸)如果趨近 1.0 的值表示耗用在「寫入分配」的量很低，占用的流量較少，延遲時間較短；而數值趨近 2.0 的值表示完全的「寫入分配」的量很高，占用的流量較多。在本次實驗中，

顯示核心存儲量的寫入讀出與延遲程度在多數情境下 Grace 表現較其餘 2 晶片好 (詳圖 2，圖中的綠色實線)。

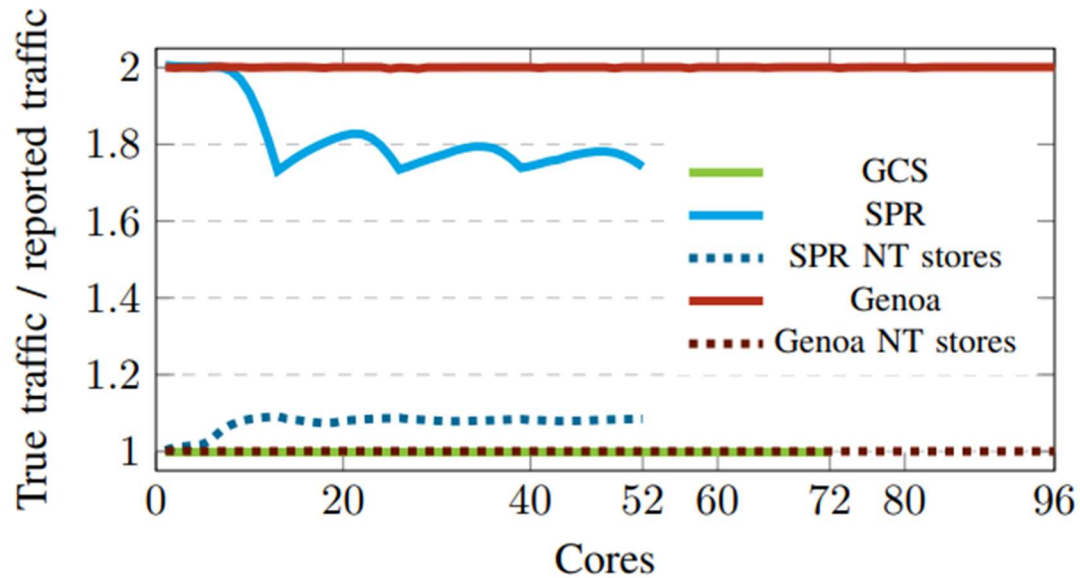


圖 2：比較 3 個不同品牌的 CPU 晶片實際內存流量與存儲數據量比率隨核心數增加的比例(Jan Laukemann, Georg Hager, Gerhard Wellein(2024), Microarchitectural comparison and in-core modeling of state-of-the-art CPUs:Grace, Sapphire Rapids, and Genoa, <https://sc24.supercomputing.org/>)

因高速運算電腦的效能表現除與晶片單一核心有關外，也與晶片之間資料交換機制、記憶體大小、網路內部頻寬及拓譜等條件有關，Jan Laukemann 提到下一階段的工作會擴展至以多個節點，真實個案應用為測試目標，藉以瞭解各相關因子在高速運算電腦運作時的效能及其影響。

(二.)異質運算

講題：使用非同步執行和內核融合對敏感的大氣模型在 GPU 上的運行加速 (Accelerating an overhead-sensitive atmospheric model on GPUs using asynchronous execution and kernel fusion)

東京大學的 Yamazaki 先生分享了如何運用 NVIDIA A100 GPU 加速氣候模式 (SP-MIROC) 的運算並減少所需運算時間，他比較以 ARM 的 A64FX CPU 處理器 (富士通 FX1000，同氣象署第六代高速運算電腦 CPU 規格) 跟 A100 GPU 在運行 SP-MIROC 氣候模式的差異，該氣候模式為 MIROC6 氣候模式的超參數化版本 (超參數化 (Super-parameterization) 技術提高氣候和天氣預測模型精度。它通過在每個模型網格格點內嵌一個高分辨率區域模型 (如雲解析模型)，來準確模擬小尺度過程 (如雲和對流)，從而結合大尺度和小尺度現象的優勢，提供更準確的預測。)，與氣象署大氣/氣候測報模式類似，該模式原以 Fortran 程式撰寫，透過 OpenACC 技術及 CUDA (Compute Unified Device Architecture) 運算環境將模式改寫成適用 GPU 執行的方式。

OpenACC 是一種用於平行計算的程式設計模型，旨在讓程式開發者更簡單地利用 GPU 的強大計算能力。它的主要目標是降低程式設計的複雜度，讓程式開發者不需要深入瞭解 GPU 硬體細節，就能夠將計算任務分派給 GPU 進行加速。OpenACC 通過在現有程式碼中插入簡單的指令，來告訴編譯器哪些部分的程式需要平行化和加速。這使得這個技術適合希望在短時間內將應用程式移植到 GPU 上的程式設計者；CUDA 是由 NVIDIA 公司開發的一個平臺和應用程式，允許程式設計者直接利用 NVIDIA GPU 進行通用計算。與 OpenACC 不同，CUDA 提供了更多的控制和靈活性，但也需要程式設計者具備更深入的程式設計知識。使用 CUDA 開發者可以編寫專門的 CUDA C/C++ 程式碼，來實現平行計算任務，並能夠對硬體資源進行細部的調整和改善。這使得 CUDA 在性能需求高和需要精細調整的應用中非常受歡迎。

OpenACC 技術可使核心(kernel)使用一個或多個 GPU 非同步運作，運行速度將優於須同步運作之 CPU 環境，CUDA 運算環境藉由核心融合技術讓不同的循環並置在一個核心中，數據參考圖 3，圖中直接改寫成 GPU 版本後，A100 OpenACC 的數據為圖中藍線(sync)，在 A100 GPU 上，默認使用同步執行 (Sync) 表現落後

於 A64FX CPU，同步執行每個程式都要等到前一個程式完全執行完畢後才能開始執行，會導致運行較慢，因每次都要等待前一個程式執行完成後才能繼續；然用使用 OpenACC 的 async 技術來實現單隊列異步執行(A-Single，圖 3 橘線)，單隊列異步執行為在一個序列中排隊執行多個程式，可在一個程式尚未執行完之前，開始執行下一個程式，可減少等待時間提高效率；A100 使用 CUDA 技術為圖 3 中紅線(A-Fusion)，內核融合就像把幾個相似的程式合併成一個大程式來執行，可減少程式調用的開銷，因為只需要調用一次程式，而不是多次調用不同的程式。

綜上，可以發現 CUDA 能使模式在同樣資源下運行速度較快；CUDA 運算環境藉由核心融合技術讓不同的循環並置在一個核心中，上述技術讓 GPU 環境可以有優於 CPU 環境平行化運算的成果，雖改寫成 CUDA 運算環境有改版及維護成本，但如模式計算是集中在少量核心，考量到加速的時間，講者認為仍有修改程式的必須性。

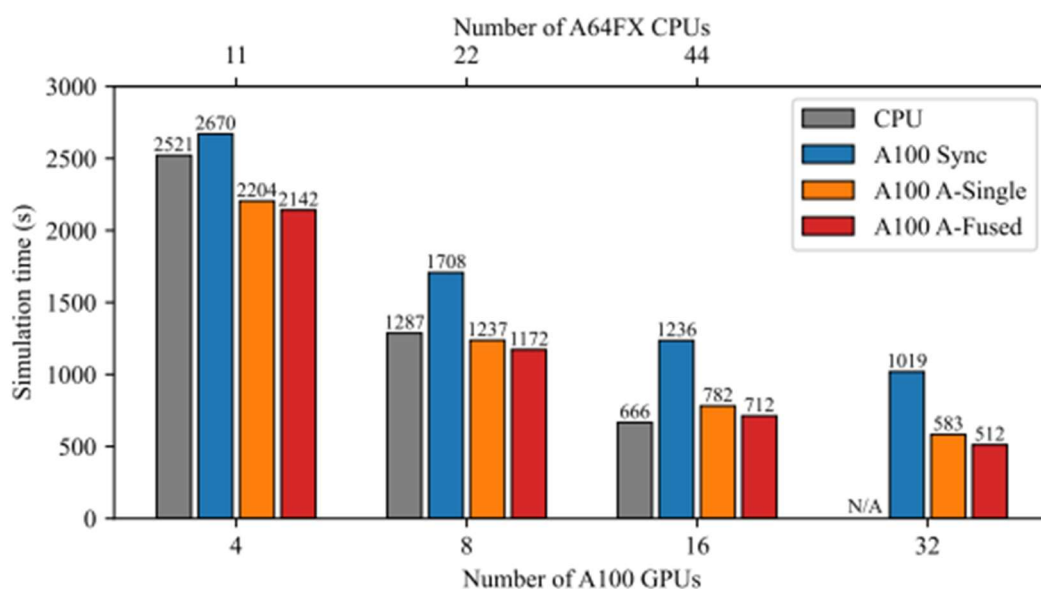


圖 3、SP-MIROC 模式在 CPU 及用不同方式改寫成 GPU(NVIDIA A100)的運行速度在不同計算資源的表現(Kazuya Yamazaki(2024), Accelerating an overhead-sensitive atmospheric model on GPUs using asynchronous execution and kernel fusion,

<https://conferences.computer.org/scpub/pdfs/>

(三.)系統運營

講題：次世代高效能計算狀態視覺化：使用 Next.js 和 Slurm API 提升節點狀態(Next-Gen HPC Status Viz: Powering Up Node Status with Next.js and the Slurm API)

亞利桑那州立大學 (ASU) 面對使用者在高速運算電腦 (HPC) 監控功能需求的轉變，因高速運算電腦管理的節點數量日益增加、部分使用者主要是研發人員，然監控介面主要設計面向系統維護者、需要整合更多實時資料…等原因，開發以 Next.js 跟 Slurm API 來監控高速運算電腦的節點的軟體與顯示介面。

新的介面同時兼顧使用者跟管理者的需求，使用者可以以個別工作為單位追蹤資源使用狀態，系統管理者則可由硬體出發，從硬體面出發了解系統的整體狀態，並整合實時與歷史數據，未來將結合人工智慧工具進行系統運營的參考。

(四.)軟體移轉

講題：利用人工智慧將 Fortran 程式移植到可以在 GPU 上運行 的 C++程式 (Leveraging AI to port from legacy Fortran to GPU enabled C++)

許多高速運算電腦上的程式(如：氣象署過去發展及引進的數值天氣測報模型)，是由 Fortran 語言撰寫，如欲改寫成 C++，雖可透過 Kokkos 和 AMReX 等工具輔助，然因其程序龐大，需耗費大量人力及時間，本次演講應用了新興人工智慧技術，嘗試使用大型語言模型來協助程式碼的改寫，並比較了 3 種可用的代碼轉換器：ChatGPT、CodeConvert 和 DeepAI。

測試結果顯示，與 ChatGPT 和 DeepAI 相比，CodeConvert 產生了更好的結果，只需要使用者進行微小的調整。然而，必須特別注意在程序很長或有預處理指令時，上述轉換器在轉換較長的函數時往往會忽略它們，以至造成程式碼轉換不完整，但總體而言現成的 LLM 轉換器具用於加速 Fortran 應用程式改寫成

C++語言的潛力。

(五.) 工作流程

講題：氣候研究中人工智慧應用的可擴展多設施工作流程 (Scalable Multi-Facility Workflows for Artificial Intelligence Applications in Climate Research)

考量地球觀測和地球系統模型的資料量的龐大、資料來源(衛星、觀測、實驗等類型資料)橫跨美國各地、產品類型的多元性，如何有效地傳遞及交換這些資料為一個重要課題。

Globus 工作流程共有 5 步驟(1) 下載：從相應的 NASA 分散式主動檔案中心下載 MODIS 產品。Globus 進行自動化下載，並將數據填充到系統上。(2) 預處理：預處理腳本將 2030 像素×1354 像素×36 頻道的 MODIS 掃描圖像分解為一組 128 像素×128 像素×6 頻道的圖像切片，並僅選擇海洋上的切片。此階段運用多節點以多工的方式平行預處理。(3) 監控與觸發：監控掃描是否生成，並存儲預處理圖片。如果完成觸發推論腳本。(4) 推論：運用人工智慧分類辨別 42 種雲種。(5) 傳輸：從推論階段創建的分類數據被轉移到 Frontier 的 lustre 檔案系統中，用於下游分析，包括新模型的訓練(Globus 流程詳參圖 4)。

介紹 Globus 工作流程，如何應用在下載、預處理、分析這些資料，該工作流程利用高階運算生態系統測試台在不同的運算資源之間協調資料收集、預處理、人工智慧(AI)推理和數據移動。

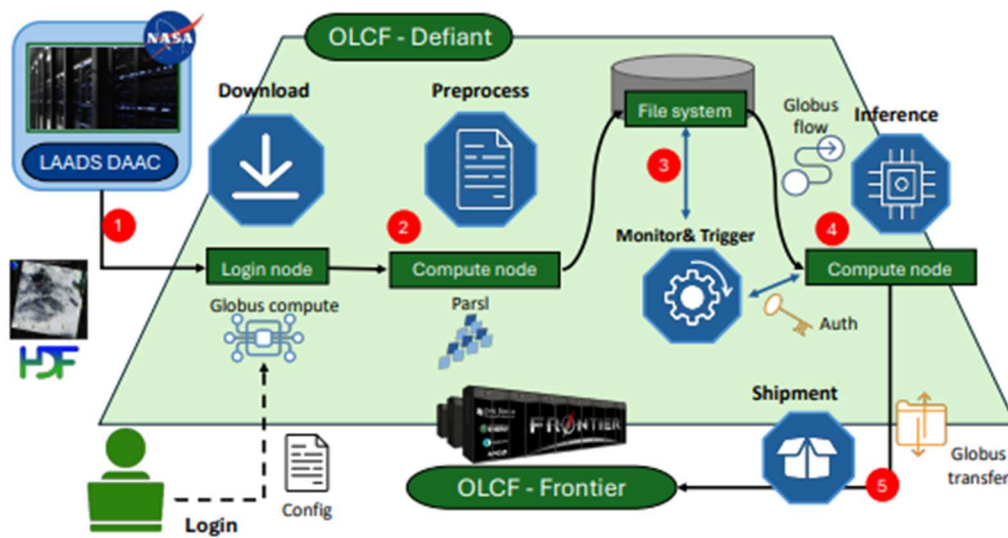


圖 4、Globus 5 大步驟及工作流程 Takuya Kurihana, Tyler J. Skluzacek, Rafael Ferreira da Silva, Valentine Anantharaj (2024), Scalable Multi-Facility Workflows for Artificial Intelligence Applications in Climate Research, <https://conferences.computer.org/scpub/pdfs/>

(六.)展場交流

會議期間在 113 年 11 月 19 日至 113 年 11 月 21 日，由各領域高速運算電腦及其周邊的廠商於展區設展，介紹其現今及未來主要產品。依據產品類型大略可分為：硬體(晶片、記憶體、整合商)、網路(雲端服務、資安)、高速運算電腦周邊(冷卻系統、空調、儲存設備、節能設備)、量子電腦、軟體(應用服務、人工智慧應用、展示)等，氣象署與會人員透過與展場人員交流，以獲得晶片未來發展的趨勢、儲存設備的發展、機櫃設計架構的各類可能性、周邊服務的國際主力廠商，有助於氣象署規劃後續高速運算電腦與機房建置時，須考量的機房承重設計、線路的規劃、監控及系統運營的介面設計等因素，展場特點如下：

1. 高效能運算進入人工智慧驅動時代：過去高速運算電腦主要應用於科學

計算，如氣象預測、氣候模擬、天文計算、生物醫學運算等，而現在高速運算電腦的應用已經進入人工智慧驅動的時代。在這次 SC24 會場上，我們幾乎看到每個高速運算電腦相關的公司都在談論人工智慧(圖 5)，這說明未來高速運算電腦與人工智慧之間的關係會更加密不可分。

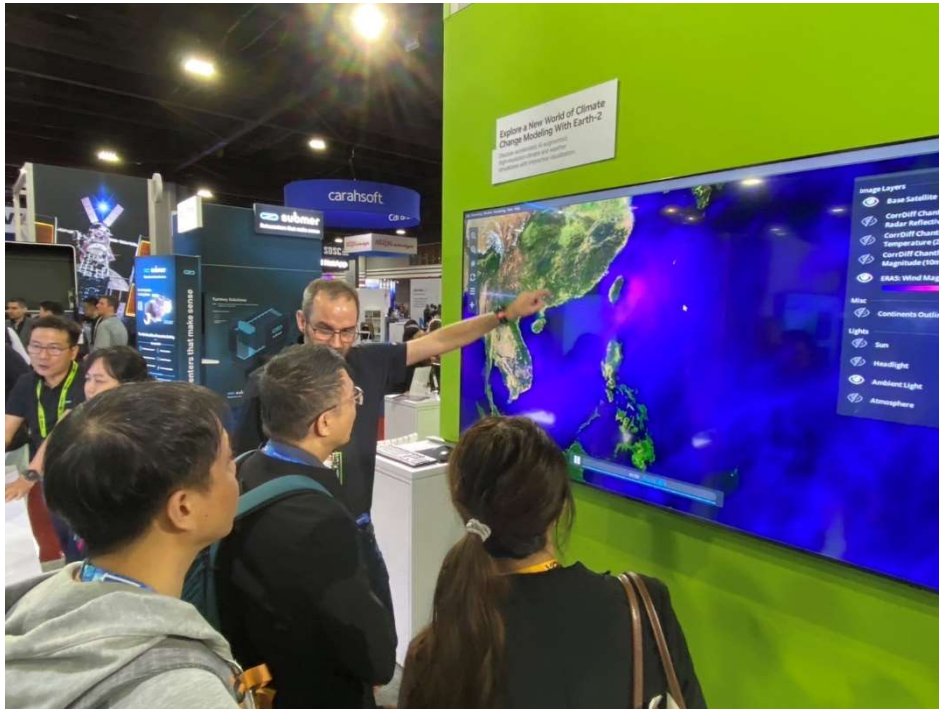


圖 5、在展覽現場與 NVIDIA 交流氣象預測模型與視覺呈現，該模型以氣象署提供極短期劇烈天氣預報模式資料，運用 NVIDIA 的 Corrdiff 擴散模型技術呈現

2. 硬體發展趨勢：多家硬體製造技術領先的廠商(如 super micro、ASUS、廣達、神達等)在大會上展示了最新的伺服器 and 加速器產品。

(1) GPU 方面：NVIDIA 在 SC24 上展示了其最新的 GPU 技術，強調 GPU 雲端運算、高效能網路、機器學習與量子運算如何革新電腦科學與人工智慧。而許多臺灣廠商如 ASUS 或廣達皆有展示 NVIDIA 的 NVL72 機櫃。NVL72 採用液冷設計，共有 36 個 Grace CPU 和 72 個 Blackwell GPU。透過 Nvidia 自己研發的 NVLink(第 5 代)技術互聯，形成一個統

一的大型 GPU 系統，專為處理兆級參數的大型語言模型（LLM）而設計。除 NVIDIA 外，神雲科技（MiTAC）也展示了整合最新 CPU 與 GPU 技術的 AI/HPC 伺服器新品，這些伺服器搭載了最新的 AMDEPYC™9005 系列處理器和 AMD Instinct™ MI325X 加速器，專為高效能人工智慧運算工作負載進行優化設計。

- (2) 量子電腦方面：量子計算仍處於早期發展階段，目前還沒有商用化的高速運算電腦產品，僅有幾個攤位有展示模型(模型如圖 6)或相關概念技術。但其潛在的計算能力引起廣泛關注。目前，業界正積極探索量子計算與傳統高速運算電腦的融合，以期在特定應用場景中實現性能突破。未來，隨著量子硬體的成熟和量子演算法的發展，預計量子計算將在優化問題、材料科學和密碼學等領域帶來革命性變革。



圖 6、展場內量子電腦雛型概念設計

- (3) 冷卻技術：隨著科技發展，晶片計算能力越來強大，雖然能源效率技

術亦有所成長。但在需達成碩大算力下，基於物理規則還是會需要大量電力，此時亦伴隨著大量熱能產生。以往的氣冷散熱在本次的會場較少被著墨，「液冷散熱」(Liquid Cooling) 成為關注的焦點，會場有多家廠商推出相關架構，如 NVIDIA NVL72 主機，其人工智慧算力大幅增強的同時，晶片達到最高負荷時所釋放的最大熱量 TDP (Thermal Design Power, 熱設計功耗)，亦節節攀升。GB200 的 TDP 飆升至 2700 瓦特，超過前一代 GH200 (兩顆 Hopper GPU+一顆 Grace CPU) 的 1000 瓦特，更遠遠超過傳統氣冷約 750 瓦特的解熱極限，意味著最新人工智慧伺服器機櫃非採用液冷散熱不可，以達較佳的能源效益。此外，會場另有其他廠商展示浸沒式冷卻 (Immersion Cooling) 技術，透過將伺服器或其他電子設備直接浸泡在不導電的液體(如礦物油等)中，將元件產生的熱能傳導給液體，從而達到高效的散熱效果。浸沒式冷卻主要分為 2 種類型：**單相浸沒式冷卻**：設備浸泡在高沸點的不導電液體中，液體始終保持液態。透過冷卻液分配裝置 (CDU) 推動液體循環，將熱量帶至外部熱交換器，進一步將熱量傳遞至建築物的冷水系統或外部空氣。**雙相浸沒式冷卻**：設備浸泡在低沸點的不導電液體中，當元件溫度超過液體沸點時，液體蒸發並帶走熱量。蒸氣在冷凝管中凝結後，液體回流至槽中，形成循環。浸沒式液冷技術亦是前瞻性議題，對於氣象署未來高速運算電腦散熱考量亦須持續關注。

- (4) 高密度機櫃架構：此次在會場亦有關注 HPE 所展示超級電腦。分別為 EX 4252 Gen2 Compute Blade 及 EX154n Accelerator Blade。EX 4252 Gen2 Compute Blade 搭載 8 顆第 5 代 AMD EPYC 處理器，在單一機櫃內含最多 98,304 核心。EX154n Accelerator Blade，主要為 NVIDIA GB200 Grace Blackwell NVL 4 Superchip GPU，單一機櫃安裝最多 224 顆。每片加速器刀鋒都包含 4 顆 Blackwell GPU 及 2 顆 Grace CPU。高密度機

櫃並不僅僅是「放更多設備」，還需要考慮**地板承重能力**。如，一台 42U 機櫃裝滿 GPU 伺服器（每台 30-40kg）後，整體重量可能高達 1.5 到 2 公噸。如果是液冷機櫃，還要加上冷卻液的重量，此時機房地板便需要考慮加強。另外亦須考慮設備震動影響，高密度設備的高速運行會產生微小振動，影響硬碟等機械部件的壽命，因此許多機櫃內部設計都需增加減震結構。

- (5) **內部高速網路**：在高效能運算（HPC）系統中，高速內部網路對於確保各計算節點之間的高效通信至關重要。此次會場，NVIDIA 與 AMD 展示了其最新的高效能網路技術，強調其在加速高速運算電腦和人工智慧工作負載方面的作用。

i. **NVIDIA 的高速互連技術：**

- (i) **NVLink 和 NVSwitch**：NVIDIA 的 NVLink 技術提供 GPU 之間的高速、低延遲通信，頻寬遠超 PCIe，顯著提升多 GPU 系統的並行計算與資料共享效率。NVSwitch 構建 GPU 之間的高速互連網路，實現全帶寬通信，進一步提升大規模並行計算效率。
- (ii) **NVLink 72**：在 SC24 上，NVIDIA 展示了 NVLink 72 技術，允許多達 72 個 Blackwell GPU 互連，構建強大的計算集群。這種高速互連技術為 GPU 集群和深度學習系統等應用場景帶來更高的頻寬和更低的延遲，從而提升系統的整體性能和效率。

ii. **AMD 的高速互連技術：**

- i. **Infinity Fabric**：AMD 的 Infinity Fabric 是一種超高速晶片互連

技術，充分釋放第 2 代 AMD 高速快取的優勢，全新的小晶片憑藉 AMD Infinity Links，可提供高達 5.3TB/s 的頻寬。

這些高速互連技術的發展，顯示了 NVIDIA 和 AMD 在提升高速運算電腦和人工智慧工作負載性能方面持續研發。以提供更高的頻寬和更低的延遲，這些技術確保了各計算節點之間的高效通信，從而加速了複雜計算任務的處理。

3. **計算效率與能源效率的並重：**以前大家關注的是「計算力」，但現在高速運算電腦的發展已經不只是比誰的運算速度更快，而是要兼顧能源效率與環保永續。在這次展場上，我們可以看到許多節能技術被納入高速運算電腦設計，例如液冷技術幫助降低資料中心的耗電量，人工智慧監控能耗自動調整系統運行狀態，減少不必要的能源浪費。這不只是技術升級，更是因應全球氣候變遷、碳排放減量的大趨勢。隨著高速運算電腦的運算需求越來越大，傳統的風冷散熱方式已經無法有效應對高功耗設備，而電力消耗過高也讓高速運算電腦產業面臨碳中和（Net Zero）的壓力。因此，未來的高速運算電腦設計不僅要追求「更快」，更要追求「更綠」，也就是「每瓦效能（Performance per Watt）」，讓每一度電都能發揮最大的運算效益。這次 SC24 展場上的趨勢顯示，高速運算電腦不只是科學運算的推手，更是影響全球能源政策與環保策略的重要角色。我們正在見證高速運算電腦產業從「性能競賽」轉向「綠色革命」，未來高速運算電腦企業與研究機構勢必會投入更多資源，讓計算力與環保永續並行。

參、心得與建議

綜合此次活動過程之觀察心得與建議如下：

- 一、 工作坊方面，本次研討會議題眾多，考量到氣象署的參與人員背景及

氣象署運營量能能夠處理的部分，本次選擇對氣象署相關且可能應用於改善作業的議題。其中包含了晶片技術發展及效能比較、混合運算改善軟體效能、應用人工智慧協助改寫模式、工作流程……等，依據各工作坊的內容、應用程式將決定所需使用的晶片、硬體……等，以此，高速運算電腦的整體規劃需要各方專家的討論，參加研討會或是未來氣象署內新的高速運算電腦規劃，都宜由研發、作業單位依據應用程式的特性，共同針對高速運算電腦需求進行討論，並時刻因應市場新興技術進行調整。

二、在展覽方面，透由接洽國際高速運算電腦與周邊技術的廠商，對於新一期的高速運算電腦採購與機房建置，能使未來規劃更具彈性，因高速運算電腦及機房的使用都長達數年或數十年，應積極與各類廠商交流，避免用現今所知去構建實有所需。氣象署持續關注並採用最新的硬體技術，如高性能處理器、加速器和高效能網路，以提升計算效率和性能，滿足日益增長的計算需求。此外，國際趨勢對於永續理念持續推廣，而高速運算電腦為氣象署耗電設施首重，隨著計算密度的提高，可預期電力及散熱的需求都將面臨挑戰，設備耗電及散熱都是重要考量。因此未來採購須加重考量運算資源的耗電及散熱技術，以達到最佳能源效率目的會是重點之一。

三、在 SC24 會場看到的 Hybrid Computing（混合運算）應用趨勢，對高速運算電腦的未來有了更深刻的理解。許多廠商（如 NVIDIA、AMD、Intel）展示了 CPU+GPU+AI 加速器的混合架構，並搭配雲端與本地運算的整合方案。例如 NVIDIA 推出的 Grace Hopper Superchip，透過 CPU-GPU 高速互連，提供人工智慧訓練與科學模擬的最佳效能。同時，AMD 也強調 MI300X 加速器在異構運算上的優勢。在導入方面，Hybrid Computing 最大的挑戰是軟體生態與調度優化。SC24 的技術討論中，

我們亦注意到許多高速運算電腦用戶正在研究如何在不同計算架構間進行工作負載分配，例如利用人工智慧來動態調整 CPU、GPU 與 FPGA 的運算比例。未來，Hybrid Computing 應該成為高速運算電腦的標準架構，尤其是在人工智慧、科學計算、金融分析等領域。氣象署應該投入評估導入具備靈活資源分配與異構計算支持的高速運算電腦平台，以提升效能與能源效率。此外，未來搭配人工智慧程式編譯的進步，氣象署應該有機會將相關適用於 GPU 核心運算的部分模式程式碼，透過人工智慧編成，加速混合運算作業的進程。

- 四、隨著人工智慧在各領域的應用日益廣泛，需加強人工智慧與高速運算電腦的協同發展，軟體須了解硬體特性及配置，硬體須了解軟體需求，充分利用高速運算電腦的強大計算能力，加速人工智慧模型的訓練和推理，從而推動氣象署科學研究及應用。例如本會議中如何利用人工智慧大語言模型技術改寫 Fortran 程式，該技術如可落實，對氣象署數值天氣測報模型以 GPU 加速應有重大助益。



圖 7、與會者與大會看板合照

附錄 1：會議議程(工作坊)

Sunday, 17 November 2024

TIMEZONE EST

	TIME	TYPE	SESSION / PRESENTATION	CONTRIBUTORS	LOCATION
	9am - 5:30pm EST	Workshop	Workshop: CANOPIE-HPC: 6th International Workshop on Containers and New Orchestration Paradigms for Isolated Environments in HPC	Andrew Younge, Richard Shane Canon, Alberto Madonna, Claudia Misale	B313 Cloud Computing Middleware and System Software State of the Practice W
	9am - 12:30pm EST	Workshop	Workshop: EduHPC-24: Workshop on Education for High Performance Computing	David P. Bunde, Erik Saule, George K. Thiruvathukal, Sushil K. Prasad	B301 Broader Engagement Education Inclusivity W
	9am - 5:30pm EST	Workshop	Workshop: ExaMPI: Workshop on Exascale MPI	Ryan Grant, Amanda J. Bienz, Matthew G. F. Dosanjh, Anthony Skjellum, William Schonbein, Purushotham Bangalore	B303 Message Passing Network W
	9am - 12:30pm EST	Workshop	Workshop: Fourth International Symposium on Quantitative Codesign of Supercomputers	Terry Jones, Estela Suarez, Jim Brandt, James A. Ang, Michael Jantz, Ann Gentile	B304 Codesign Data Movement and Memory Facilities W
	9am - 5:30pm EST	Workshop	Workshop: IA ² 3 2024 - 14th Workshop on Irregular Applications: Architectures & Algorithms	John Feo, Antonino Tumeo, Ana Lucia Varbanescu, Michela Becchi	B310 Graph Algorithms Heterogeneous Computing Programming Frameworks and System Software W
	9am - 12:30pm EST	Workshop	Workshop: International Workshop on RESource Disaggregation in High Performance Computing (RESDis)	Balazs Gerofi, Christian Pinto, John Shalf	B302 Architecture Embedded and/or Reconfigurable Systems Performance Optimization Resource Management W
	9am - 5:30pm EST	Workshop	Workshop: Machine Learning with Graphs in High-Performance Computing Environments	Seung-Hwan Lim, José Moreira, Catherine Schuman, Richard Vuduc	B314 Artificial Intelligence/Machine Learning Graph Algorithms Scalable Data Mining W

	TIME	TYPE	SESSION / PRESENTATION	CONTRIBUTORS	LOCATION
9am - 5:30pm EST	Workshop	Workshop: PDSW24: The 9th International Parallel Data Systems Workshop	Dean Hildebrand, Suren Byna, Jay Lofstead, Anthony Kougkas, Bing Xie	B309	Data Movement and Memory IO, Storage, Archive W
9am - 5:30pm EST	Workshop	Workshop: Research Software Engineers in HPC (RSE-HPC-2024)	Sandra Gesing, Daniel S. Katz, Simon Hettrick, Charles Ferenbaugh	B311	Software Engineering W
9am - 5:30pm EST	Workshop	Workshop: Sustainable Supercomputing	Fumiyoshi Shoji, James H. Rogers, Cate Berard, Mike Woodacre, Michèle Weiland	B312	Energy Efficiency HPC Infrastructure Sustainability W
9am - 5:30pm EST	Workshop	Workshop: The 2nd Digital Twins Workshop for High-Performance Computing	Peter Messmer, Elisabeth Mayer, Andrea Townsend-Nicholson, Barton Fiske, Wesley Brewer	B308	Emerging Technologies Modeling and Simulation Scientific and Information Visualization W
9am - 5:30pm EST	Workshop	Workshop: The 7th Annual Parallel Applications Workshop, Alternatives To MPI+X (PAW-ATM 2024)	Karla Vanessa Morris Wright, Daniele Lezzi, Elliott Slaughter, Irene Moulitsas, Engin Kayraklioglu, Kenjiro Taura	B306	Heterogeneous Computing Parallel Programming Methods, Models, Languages and Environments Task Parallelism W
9am - 5:30pm EST	Workshop	Workshop: Third International Workshop on Cyber Security in High Performance Computing (S-HPC 2024)	Kevin J. Barker, Joseph Manzano, Andres Marquez, Sean Pelsert, Nael Abu-Ghazaleh, Yang Guo	B305	Applications and Application Frameworks Artificial Intelligence/Machine Learning Security W
9am - 5:30pm EST	Workshop	Workshop: XLOOP 2024: The 6th Annual Workshop on Extreme-Scale Experiment-in-the-Loop Computing	Nicholas Schwarz, Justin Wozniak	B315	Distributed Computing Experimental Facility HPC Infrastructure W
2pm - 5:30pm EST	Workshop	Workshop: 15th Workshop on Latest Advances in Scalable Algorithms for Large-Scale Heterogeneous Systems (ScalAH'24)	Vassil Alexandrov, Christian Engelmann, Jack Dongarra, Erik Draeger, Dieter A. Kranzmueller	B304	Algorithms Heterogeneous Computing W

	TIME	TYPE	SESSION / PRESENTATION	CONTRIBUTORS	LOCATION
2pm - 5:30pm EST	Workshop	Workshop: ISAV 2024: In Situ Infrastructures for Enabling Extreme-Scale Analysis and Visualization	Axel Huebl, Nicola Ferrier, Matthew Larsen, Will Usher, Sean Ziegeler	B301	Distributed Computing Performance Evaluation and/or Optimization Tools Scientific and Information Visualization W
2pm - 5:35pm EST	Workshop	Workshop: MEMO'24: International Workshop on Memory System, Management and Optimization	Kyle Hale, Ivy Peng, Ron Brightwell, Maya Gokhale	B302	Data Movement and Memory Emerging Technologies W

Monday, 18 November 2024 TIMEZONE EST

	TIME	TYPE	SESSION / PRESENTATION	CONTRIBUTORS	LOCATION
9am - 12:30pm EST	Workshop	Workshop: 8th International Workshop on Software Correctness for HPC Applications (Correctness '24)	Ignacio Laguna, Cindy Rubio-González	B315	Debugging and Correctness Tools Fault-Tolerance, Reliability, Maintainability, and Adaptability Software Engineering W
9am - 5:30pm EST	Workshop	Workshop: 2024 International Workshop on Performance, Portability, and Productivity in HPC	John Pennycook, CJ Newburn, Kenneth Weiss, Scott J. Parker	B306	Performance Optimization Programming Frameworks and System Software W
9am - 5:30pm EST	Workshop	Workshop: AI4S: 5th Workshop on Artificial Intelligence and Machine Learning for Scientific Applications	Dong Li, Gokcen Kestor, Murali Emani	B313	Artificial Intelligence/Machine Learning W
9am - 5:30pm EST	Workshop	Workshop: Co-design of Next-Generation HPC Systems for Artificial Intelligence and Mixed-Analytics	John Feo, Amelie Chi Zhou, Jiyuan Zhang	B314	Artificial Intelligence/Machine Learning Codesign W
9am - 5:30pm EST	Workshop	Workshop: Communication, I/O, and Storage at Scale on Next-Generation Platforms – Scalable	David Martin, Nalini Kumar, Clayton Hughes, Amit Ruhela, Glenn Brook, Hatem Ltaief	B312	I/O, Storage, Archive W

9am - 5:30pm EST	Workshop	Workshop: Eleventh SC Workshop on Best Practices for HPC Training and Education	Nia Alexandrov, Scott Lathrop, Nitin Sukhija, Julie Mullen	B308	Distributed Computing Education Emerging Technologies W
9am - 5:30pm EST	Workshop	Workshop: LLVM-HPC2024: The Tenth Workshop on the LLVM Compiler Infrastructure in HPC	James C. Brodman, Johannes de Fine Licht, Alexis Perry-Holby, Ryan Kabrick	B310	Compilers Parallel Programming Methods, Models, Languages and Environments Performance Optimization W
	TIME	TYPE	SESSION / PRESENTATION	CONTRIBUTORS	LOCATION
9am - 5:30pm EST	Workshop	Workshop: PMBS24: The 15th International Workshop on Performance Modeling, Benchmarking, and Simulation of High-Performance Computer Systems	Simon Hammond, Steven A. Wright, Sascha Hunold	B303	Accelerators Modeling and Simulation Performance Evaluation and/or Optimization Tools W
9am - 12:30pm EST	Workshop	Workshop: Programming and Performance Visualization Tools	David Boehme, Emmanuelle Saillard, Carmen Navarrete, Kate Isaacs	B311	Debugging and Correctness Tools Performance Evaluation and/or Optimization Tools W
9am - 12:30pm EST	Workshop	Workshop: Second Workshop on Enabling Predictive Science with Optimization and Uncertainty Quantification in HPC (EPSOUQ-HPC 2024)	Antigoni Georgiadou, Tiernan Casey	B301	Applications and Application Frameworks Algorithms Performance Evaluation and/or Optimization Tools W
9am - 12:30pm EST	Workshop	Workshop: The 10th International Workshop on Data Analysis and Reduction for Big Scientific Data	Kento Sato, Sheng Di, Xin Liang, Sian Jin, Dingwen Tao, Ana Gainaru	B304	Data Compression Data Movement and Memory Middleware and System Software W

9am - 12:30pm EST	Workshop	Workshop: The 10th International Workshop on Data Analysis and Reduction for Big Scientific Data	Kento Sato, Sheng Di, Xin Liang, Sian Jin, Dingwen Tao, Ana Gainaru	B304	Data Compression Data Movement and Memory Middleware and System Software W
9am - 5:30pm EST	Workshop	Workshop: The 11th Annual International Workshop on Innovating the Network for Data Intensive Science - INDIS	Akbar Kara, Anees Al-Najjar, Nik Sultana	B305	Architecture Network Performance Optimization System Administration W
9am - 5:30pm EST	Workshop	Workshop: The 19th Workshop on Workflows in Support of Large-Scale Science (WORKS24)	Silvina Caino-Lores, Anirban Mandal	B302	Applications and Application Frameworks Distributed Computing Middleware and System Software W
9am - 5:30pm EST	Workshop	Workshop: WHPC: Diversity and Inclusion for All	Elsa J. Gonsiorowski, Mozghan Kabiri chimeh	B309	Broader Engagement HPC in Society Inclusivity W
2pm - 5:30pm EST	Workshop	Workshop: Eleventh Workshop on Accelerator Programming and Directives (WACCPD 2024)	Maciej Cytowski, Joseph Schoonover, Emma Tolley	B301	Accelerators Heterogeneous Computing Parallel Programming Methods, Models, Languages and Environments W
2pm - 5:30pm EST	Workshop	Workshop: High Performance Python for Science at Scale	Sunita Chandrasekaran, Pete Mendygral, Sam Foreman, Daniel Margala	B304	Applications and Application Frameworks Artificial Intelligence/Machine Learning Parallel Programming Methods, Models, Languages and Environments W
2pm - 5:30pm EST	Workshop	Workshop: International Workshop on RISC-V for HPC (RISCVHPC)	David Donofrio, Nick Brown, Michael Wong, DANIELE GREGORI, Teresa Cervero, Matthew Turner	B315	Accelerators Emerging Technologies Hardware Technologies W
2pm - 5:30pm EST	Workshop	Workshop: Tenth Computational Approaches for Cancer Workshop	Eric Stahlberg, Lynn Borkon, Lauren Lewis	B311	Artificial Intelligence/Machine Learning Biology Education Emerging Technologies Medicine Modeling and Simulation W

Friday, 22 November 2024

TIMEZONE EST

	TIME	TYPE	SESSION / PRESENTATION	CONTRIBUTORS	LOCATION
8:30am - 12pm EST	Workshop	Workshop: 14th Workshop on Fault-Tolerance for HPC at eXtreme Scale (FTXS 2024)	John Daly, Scott Levy, Bo Fang, Keita Teranishi	B306	Distributed Computing Fault-Tolerance, Reliability, Maintainability, and Adaptability W
8:30am - 12pm EST	Workshop	Workshop: Accelerating the Development and Use of Generative AI for Science and Engineering: The Trillion Parameter Consortium (TPC)	Rick Stevens, Satoshi Matsuoka, Valerie Taylor, Charlie Catlett, Irina Rish, Fabrizio Gagliardi, Neeraj Kumar	B206	Artificial Intelligence/Machine Learning W
8:30am - 12pm EST	Workshop	Workshop: Ethical, Social and Policy Issues in HPC	Jay Lofstead, Nathaniel Kremer-Herman, Jakob Luetzgau, William Schonbein, Elaine M. Raybourn, Javier Gomez-Lavin	B308	Artificial Intelligence/Machine Learning Broader Engagement HPC in Society W
8:30am - 12pm EST	Workshop	Workshop: Fourth Combined Workshop on Interactive and Urgent HPC	Robert Henschel, Nick Brown, Bill Arndt, Albert Reuther	B315	Applications and Application Frameworks W
8:30am - 12pm EST	Workshop	Workshop: HPC Systems Professionals Workshop (HPCSYSPRO24)	Elizabeth Hillery, Jared Baker, John Blaas	B312-B313A	HPC Infrastructure State of the Practice System Administration W
8:30am - 12pm EST	Workshop	Workshop: HUST-24: 11th International Workshop on HPC User Support Tools	Elsa J. Gonsiorowski, Lev Gorenstein, Chris Bording	B311	State of the Practice System Administration W
8:30am - 12pm EST	Workshop	Workshop: Second International Workshop on HPC Testing and Evaluation of Systems, Tools, and Software (HPCTESTS 2024)	Verónica G. Melesse Vergara, Bilel Hadri	B309	Debugging and Correctness Tools Hardware Technologies Resource Management State of the Practice W
8:30am - 12pm EST	Workshop	Workshop: SuperCompCloud: 8th Symposium on Interoperability of Supercomputing and Cloud Technologies	Maxime Martinasso, Francois Tessier, David Hancock, Winona Snapp-Childs, Sadaf R. Alam	B207	Cloud Computing Distributed Computing W

8:30am - 12pm EST	Workshop	Workshop: Tenth International Workshop on Heterogeneous High- performance Reconfigurable Computing (H2RC '24)	Melissa C. Smith, Christian Plessl, Kenneth O'Brien, Torsten Hoefler, Franck Cappello, Jason Bakos	B208	Embedded and/or Reconfigurable Systems Heterogeneous Computing W
-------------------------	----------	---	--	------	---