



# Temperature, Humidity, and Latitude Analysis to Estimate Potential Spread and Seasonality of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)

Mohammad M. Sajadi, MD<sup>1,2</sup>; Parham Habibzadeh, MD<sup>3</sup>; Augustin Vintzileos, PhD<sup>4</sup>; [et al](#)

臺北市立聯合醫院教研部  
王培瑋教學主治醫師  
教學主治醫師群  
邱婷芳主任  
璩大成副總院長

Corresponding Author: Mohammad M. Sajadi, Institute of Human Virology, University of Maryland School of Medicine, Baltimore, MD.

JAMA Netw Open. 2020;3(6):e2011834.  
doi:10.1001/jamanetworkopen.2020.11834

## Temperature, Humidity, and Latitude Analysis to Estimate Potential Spread and Seasonality of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)

- **研究目的:**severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 是否與季節性有關？傳播性是否可以預測？
- **結果:**共有 50 個有和沒有 coronavirus disease 2019 (COVID-19) 感染城市的 cohort study，研究發現嚴重社區感染 COVID-19 的地區大致沿北緯 30° 至 50° 的走廊地區分佈且具有極為類似的天氣模式，包括平均溫度為 5 到 11°C 以及較低的比濕度 (Specific humidity) 和絕對濕度 (absolute humidity)。
- **意義:**在這項研究中，COVID-19 疫情嚴重的社區沿著有限的緯度、溫度和濕度測量值分佈，這與季節性呼吸道病毒的行為一致；通過建模有可能預測嚴重社區感染 COVID-19 的高風險區域。

# 背景

- 包括人類冠狀病毒在內的許多傳染病發生率均有季節性變化。
- Betacoronaviruses 例如 Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) 和 severe acute respiratory syndrome coronavirus (SARS-CoV) 則被認為沒有季節性變化。
- 流感是季節性疾病的典型例子，也是全球衛生保健系統的負擔
  - 流感的發生率在溫帶地區有明顯的季節性波動，但在熱帶地區卻表現出較小的季節性。
- 雖然已有許多可能機制提出以解釋這種變化，但我們目前對這種現象的解釋仍然不完整。

# 背景

- 由SARS-CoV-2引起的Coronavirus disease 2019 (COVID-19)，最初是因為中國湖北省武漢市一系列不明病因的肺炎患者，隨後透過全球旅行傳播到世界許多地區。
- 由於地理上的臨近和大量的旅行聯繫，震央的流行病學模型(epidemiological modeling of the epicenter)估計，東南亞地區特別是曼谷，將繼武漢之後發生流行。實際上這些地區的病例數量並未升高，且震央轉移到亞洲、歐洲和北美其他國家。
- 世界衛生組織最近已宣布COVID-19為全球大流行。對於大多數人而言，最需擔憂不僅是大流行的迅速蔓延，還包括未來幾個月的流行情況以及哪些地區和人口會受到最大威脅。

# 研究目的

- 許多的研究包括實驗室、流行病學和數學建模，都指出環境溫度和濕度在季節性呼吸道病毒的生存和傳播中的角色，因而促使本研究進行環境因素對COVID-19影響的驗證。
- 本研究試圖確定氣候是否可能為此疾病傳播的因素。

# 方法

- 研究設計

- 世代研究 (cohort study)
- 檢驗8個有COVID-19大量社區傳播城市的氣候數據
  - 中國武漢、日本東京、韓國大邱、伊朗庫姆、意大利米蘭、法國巴黎、美國西雅圖、以及西班牙馬德里
- 與沒有受到影響或沒有大量社區傳播的地區進行比較
- 根據美國及公共服務部，這項研究使用的是可公開獲得的數據庫，該研究並不被視為人類參與的研究。
- 遵循Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE)報告指引

# 方法

## • 主要結果和測量

- 大量社區感染(Substantial community transmission)定義
  - 到2020年3月10日為止，一個國家至少有10個死亡的報告案例。
- 研究全球所有地區無論有或沒有COVID-19病例的代表城市以做為比較。
  - 每個國家最多選擇一個有COVID-19病例的代表性城市。
  - 沒有COVID-19的國家，我們選擇首都或最大的城市。
- 在首例社區死亡前30至20天的期間進行溫度分析
  - 以捕獲可能傳播病例的天數範圍
  - 基於研究報告顯示潛伏期大約5天和再生數(reproduction number)為2
  - 社區死亡(Community death)定義為COVID-19社區感染所導致死亡。
  - 控制組的城市使用首例社區死亡的日期
  - 若沒有相關數據，則使用首例死亡的日期
  - 沒有死亡的國家，使用收集數據的最後日期（即2020年3月10日）。

# 方法

## • 主要結果和測量

- 由約翰霍普金斯大學系統科學和工程中心獲得COVID-19全國性的數據
- 依據由歐洲中期天氣預報中心（European Centre for Medium-Range Weather Forecasts）的重分析計畫（ERA-5）所得到的 2公尺（2-m）溫度，相對濕度（RH），比濕度（Specific humidity, Q）和絕對濕度（AH）進行重分析。
  - 2-m溫度是指比地球表面高2 m的溫度（地球表面附近的溫度，人類活動最頻繁地區的溫度）
  - RH是大氣在既定溫度下，可以容納的最大水蒸氣量百分比（飽和度）
  - Q定義為每單位質量的濕空氣中水蒸氣的質量，單位為克/千克
  - AH定義為既定空氣體積或質量中的水蒸氣總質量，單位為克/米
- 使用1979-2020年氣候學數據和2019年持續性預報數據及ERA-5，來分析全球以及受災地區的緯度和溫度趨勢。

# 方法

- 天氣和氣候預報的第一步是收集耦合大氣、海洋和陸地表面系統(coupled atmosphere, ocean, and land-surface system)的觀測值，例如氣象站和衛星的觀測值，以初始化模型。
- 儘管模型不斷改進，仍然會有數值誤差和未解決的環境過程，例如深對流(deep convection)和不穩定氣流(turbulence)的參數化引入的誤差。
- 數據同化技術(Data assimilation techniques)用於在直接觀測值和模型誤差之間取得平衡，以產生與模型更兼容的初始狀態。
- 為了解決不斷變化的模型問題，並使分析結果成為網格化觀測資料組(gridDED observational data sets)的來源，Kalnay等人引入了回顧性分析(即重新分析)：以最新版本來重新分析過去凍結的模型(frozen version of a model)所直接觀測的整個資料組。目前最先進的產品是ERA-5。

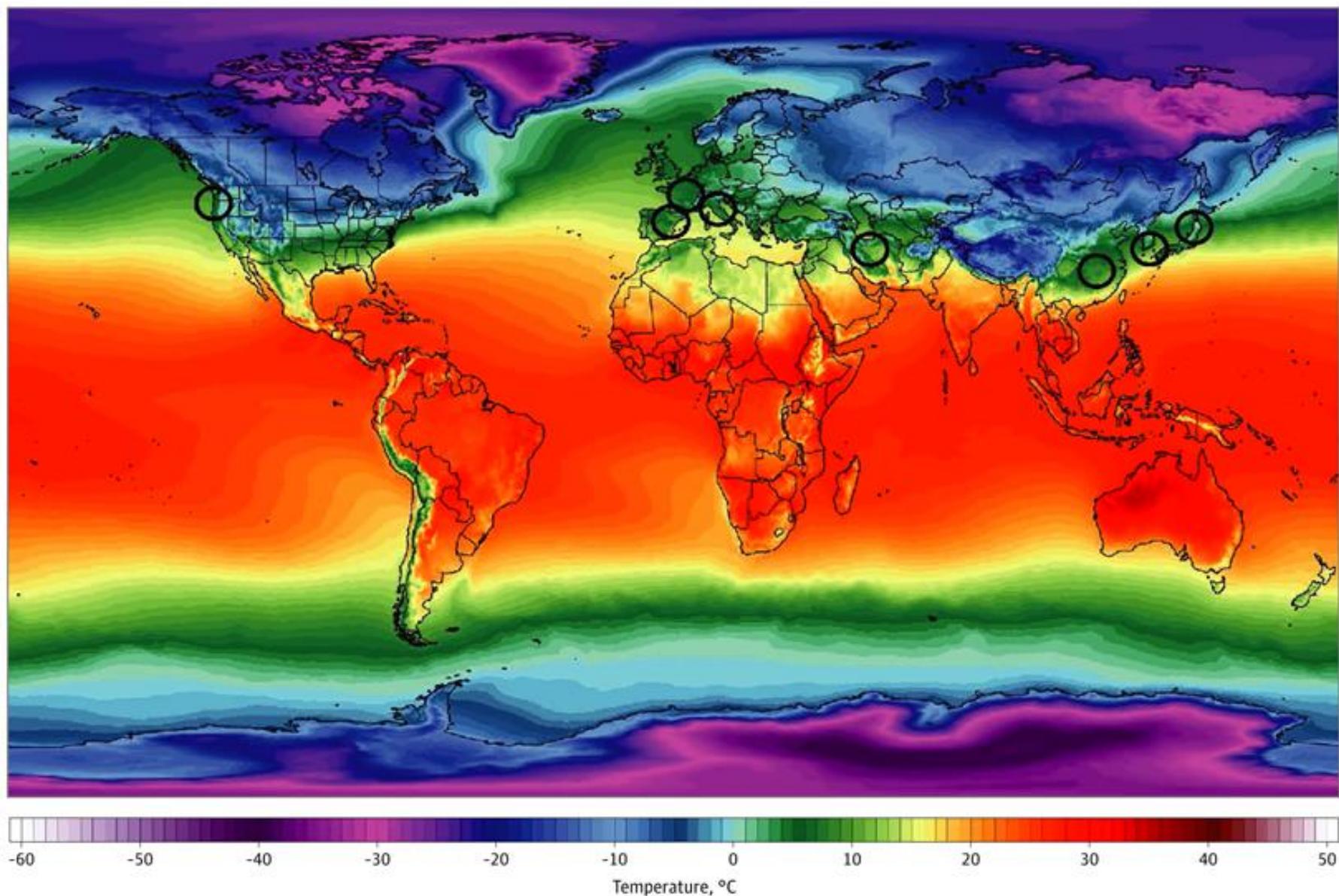
# 方法

- 統計分析
  - ERA-5再分析所提供的氣候數據，是以離散度約為30 km乘以30 km的網格覆蓋整個地球來表現。
    - 即時的每日更新會在5天內提供，每月更新則會在3個月內發布(品質保證)。
  - 2-m溫度的計算
    - 同時考慮大氣條件之下，可以藉由最低模型水平與地球表面之間的插值(interpolating)計算。
      - ERA-5再分析2019年的數據是從Climate Reanalyzer (緬因大學氣候變化研究所) 獲得。
      - ERA-5也於2020年1月至2020年2月進行再分析，並使用2020哥白尼氣候變化服務(Copernicus Climate Change Service) 的資訊。
    - 也可由對高空四維變分資料同化(upper air 4-dimensional variational data assimilation) 進行分析得到。
  - 使用Mann-Whitney test比較有無社區傳播城市之間的2-m溫度、Q和RH值。
  - 線性回歸分析用於確定氣候數據與病例數之間的關聯
    - 病例總數的對數為應變項(Dependent variables)；平均2米溫度，平均Q和平均RH作為自變項(Independent variables)。
  - Prism version 5 (GraphPad) 進行統計分析。
  - $P < .05$ 為統計學顯著性，所有測試均為雙尾。

# 結果

- 到2020年3月10日為止，大量社區感染沿著狹窄的緯度帶，在東西方有一致的模式。
- 最初新的疾病中心大約在北緯30°到50°之間，包括南韓（大邱：北緯35.9°；54例死亡，7513病例），日本（東京：北緯35.6°；10例死亡，58病例），伊朗（庫姆：北緯34.6°；291例死亡，8042病例）和意大利北部（米蘭：北緯45.6°；631例死亡，10149病例）
- 在伊朗意外爆發後，大量社區感染的新領域包括美國西北部（西雅圖：北緯47.5°；28人死亡和959病例）；西班牙（馬德里：北緯40.5°；35人死亡和1695病例）；法國（巴黎：北緯48.7°；33例死亡和1784病例）。
- 同一時期，COVID-19未能大量傳播到北部的緊鄰國家（俄羅斯莫斯科：北緯56.0°；0例死亡和10例病例）和中國南部（武漢：北緯30.8°；有3136例死亡和80757病例）。
- 與之前提到的溫帶地區相比，東南亞的患者人數和報告的死亡人數要低得多（例如，泰國曼谷：北緯13.7°；1例死亡和53病例；越南河內：北緯21.2°；0例死亡和31病例）。

Figure 1. World Temperature Map, November 2018 to March 2019 2018年11月至2019年3月的世界溫度圖



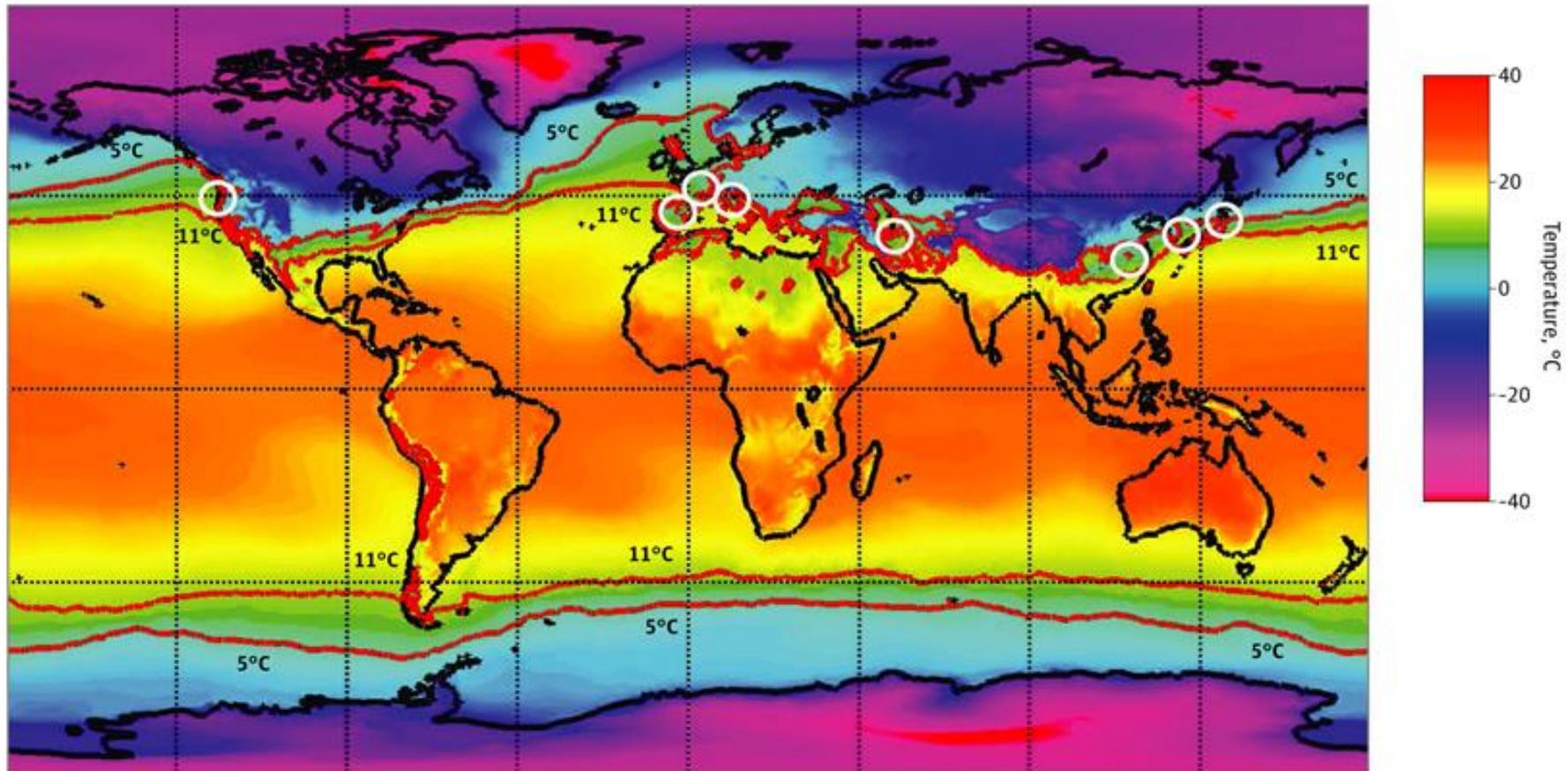
顏色漸層表示2米的溫度。黑圈代表大量社區傳播的國家（2020年3月10日為止，死亡人數 $\geq 10$ ）。影像來自Climate Reanalyzer

# 結果

- 進一步分析從2020年開始的2-m溫度也得出了相似的結果(圖2、見下頁)。
  - 武漢於2020年1月和其他受影響的城市2020年2月平均溫度的測量值相似(機場氣象站測量為4-9°C)。
  - 該地區首例社區死亡前20到30天的平均溫度也顯示相似的溫度(機場氣象站測量為3-9°C)。
  - 城市化的影響，城市內的溫度略高於機場，估計在5至11°C之間。
- 這些地區爆發時間與年度溫度週期中的冬季最低點相吻合，也是各個城市共同點
  - 此8個城市的溫度在1個月或更長時間(2019年12月至2020年2月的3個月)內均相對穩定，平均溫度為2至10°C之間

Figure 2. World Temperature Map, January 2020 to February 2020

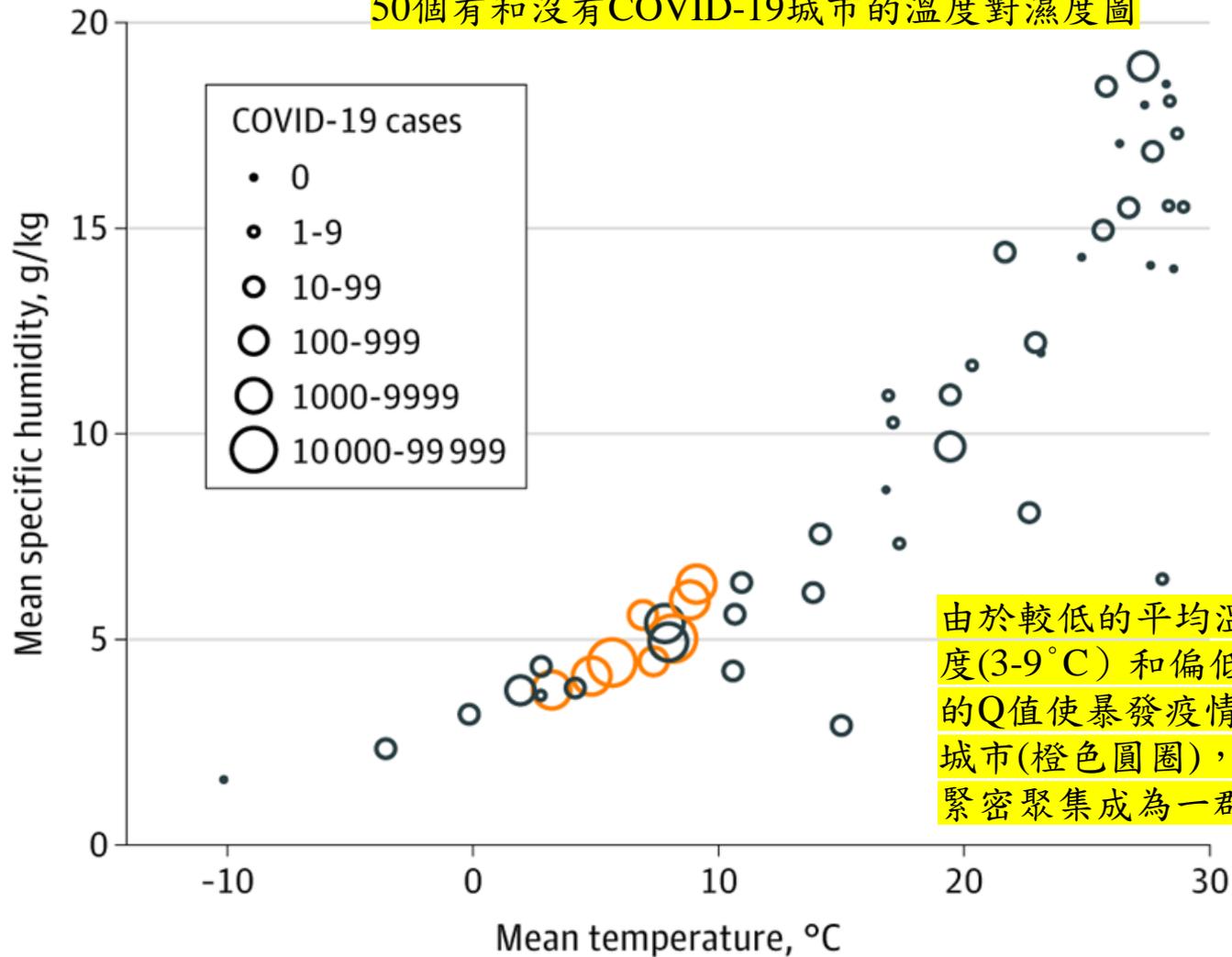
2020年1月至2020年2月的世界溫度圖



根據歐洲中型天氣預報中心ERA-5重新分析，使用2020哥白尼氣候變化服務 (Copernicus Climate Change Service) 的資訊所得到的世界溫度地圖。顏色漸層表示2米的溫度，白色圓圈代表大量傳播社區的國家（到2020年3月10日為止死亡人數 $\geq 10$ ），紅色等值線表示溫度在5至11°C之間的地區

Figure 3. Temperature vs Humidity Plot for 50 Cities With and Without COVID-19

50個有和沒有COVID-19城市的溫度對濕度圖



由於較低的平均溫度(3-9°C)和偏低的Q值使暴發疫情城市(橙色圓圈),緊密聚集成為一群。

有COVID-19大量社區感染城市的相對濕度不同(44%-84%),但Q(3-6 g/kg)和AH(4-7 g/m<sup>3</sup>)始終維持較低。

有COVID-19大量社區爆發的城市的溫度和比濕度,是首次社區死亡案例前20到30天之間的平均值。對有或沒有COVID-19暴發的其他城市也進行了類似的分析,基準點是與社區傳播相關的首次死亡(若有相關數據)或數據收集的最後一天(2020年3月10日)。橙色圓圈代表有大量社區傳播的國家(截至2020年3月10日,有≥10例死亡),圓圈大小代表每個國家的總病例數。

# 結果

比較有或沒有大量社區擴散的城市時，與溫度和Q的關聯性在統計上也很顯著（ $P = .003$ 和 $P = .01$ ）（圖A和B）。RH則沒有任何的相關性（ $P = .14$ ）（圖C）。

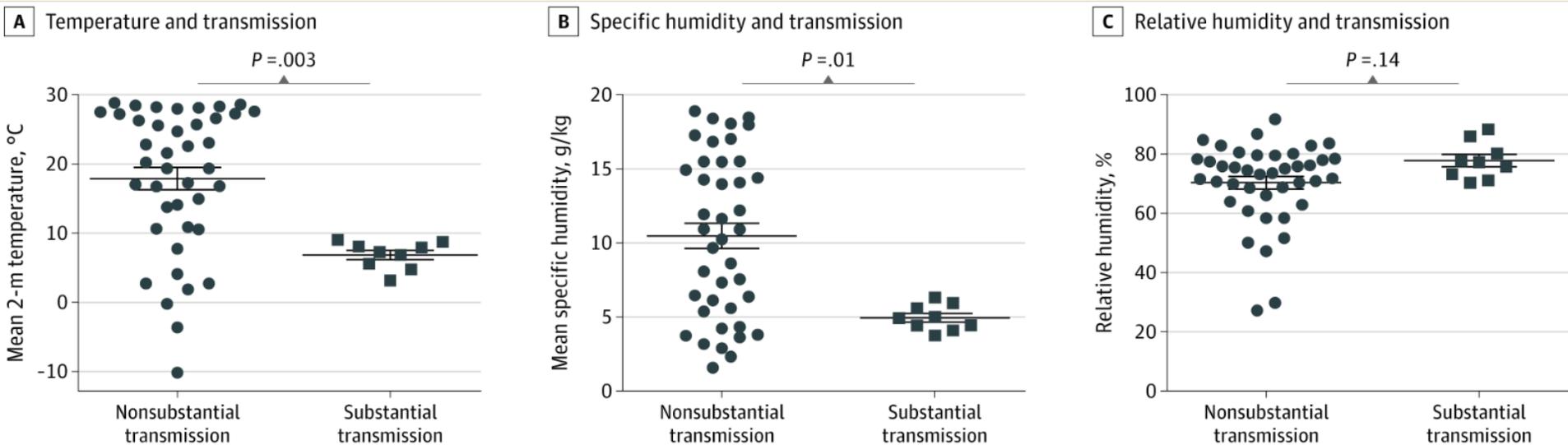


Figure 4. 有COVID-19感染的城市與國家的平均溫度和濕度比較

A-C:有無社區傳播城市的2-m溫度、比濕度和相對濕度平均值的比較(Mann-Whitney test)。

點表示無大量社區傳播城市，正方形表示有大量社區傳播城市。

大量社區傳播定義為到2020年3月10日止，一個國家的死亡報告案例至少為10人。

# 結果

溫度和Q與全世界國家代表城市的總病例數也有相關性  
( $R^2 = .26$ ;  $P < .001$ 和  $R^2 = .25$ ;  $P < .001$ ) (圖D和E)。  
RH則沒有任何的相關性 ( $P = .11$ ) (圖C和F)。

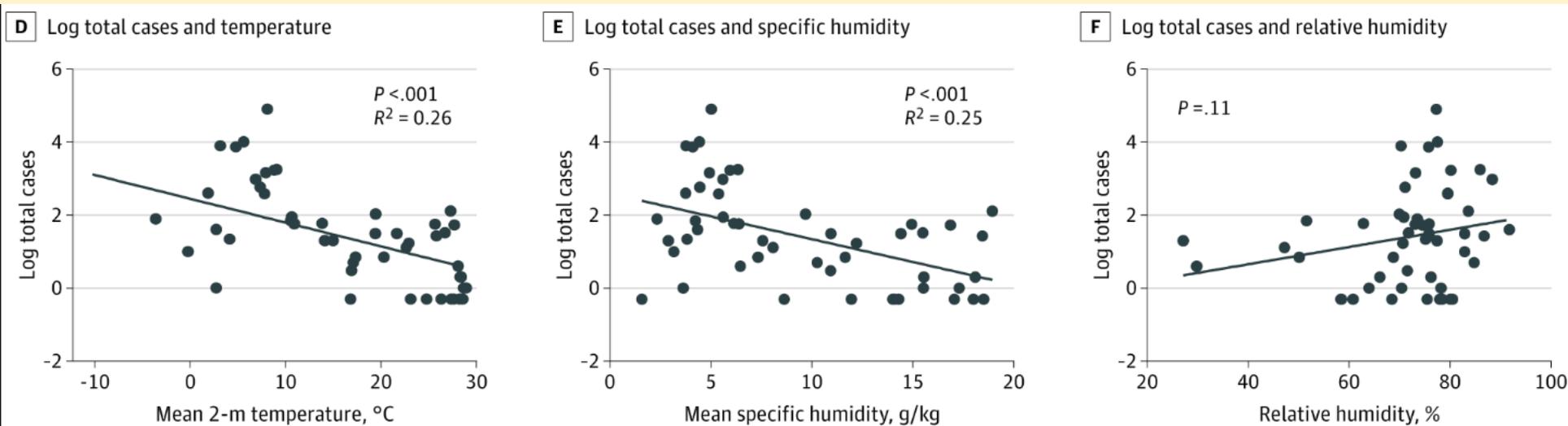
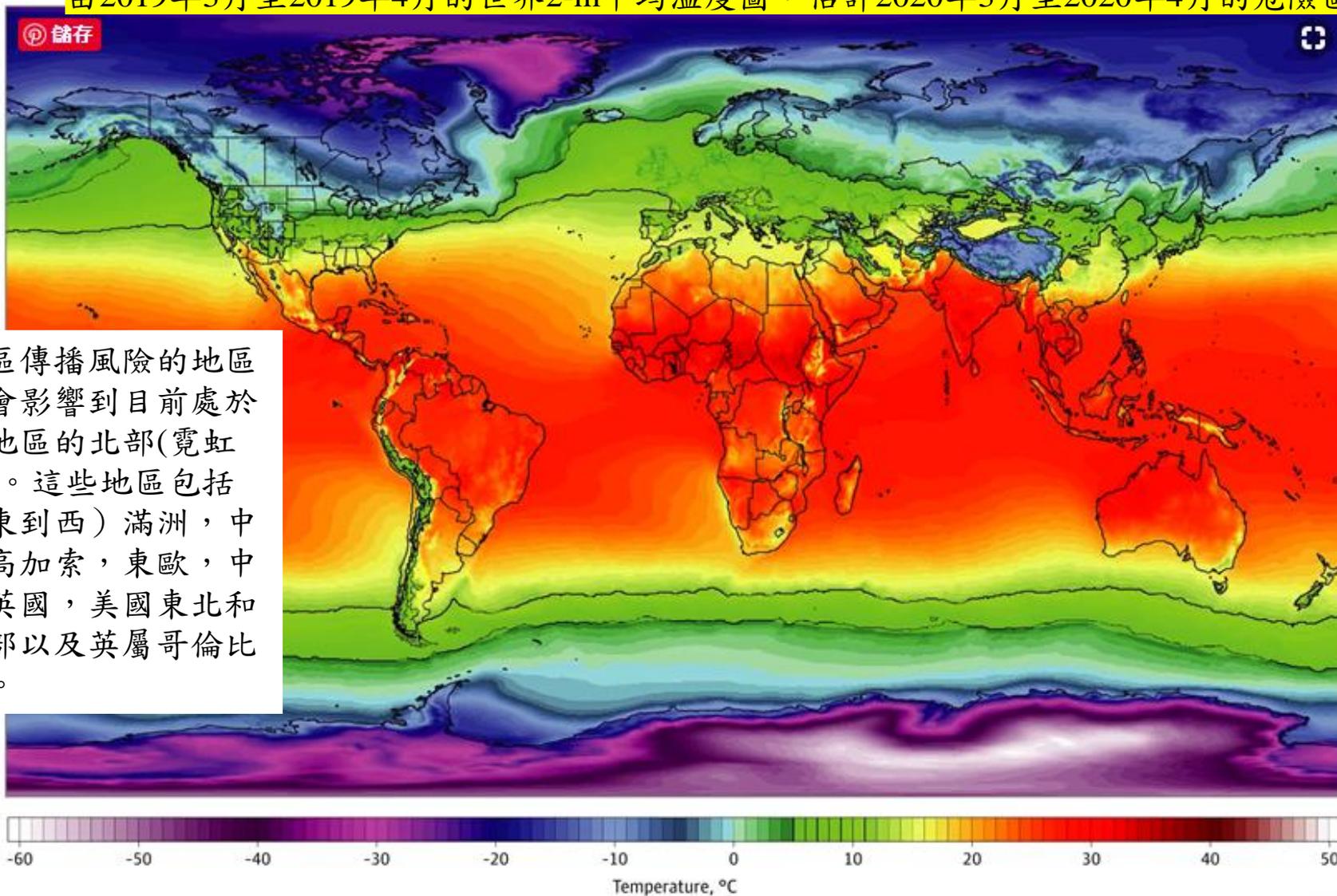


Figure 4. 有COVID-19感染的城市與國家的平均溫度和濕度比較  
D-F，以線性回歸分析50個不同國家的代表城市的2-m溫度、比濕度  
和相對濕度平均值，與總病例數的對數值進行分析。  
沒有病例的國家以0.5例計算。圓圈代表各個城市的價值。

Figure 5. World 2-m Mean Temperature Map. March to April 2019. Estimating At-Risk Zone for March to April 2020

由2019年3月至2019年4月的世界2-m平均溫度圖，估計2020年3月至2020年4月的危險區



有社區傳播風險的地區預計會影響到目前處於危險地區的北部(霓虹綠帶)。這些地區包括(從東到西)滿洲，中亞，高加索，東歐，中歐，英國，美國東北和中西部以及英屬哥倫比亞省。

顏色漸層代表2米的平均溫度，霓虹綠帶的區域表示溫度在5到11攝氏度之間，比濕在3到6克/公斤之間。短期內可能造成大量社區傳播的暫定危險區域包括霓虹綠帶內的地區，危險區域將根據實際平均溫度和其他因素而改變。圖片來自Climate Reanalyzer。

# 討論

- 有COVID-19大量社區感染地區的分布沿著有限的緯度、溫度和濕度，與季節性呼吸道病毒的行為一致。
- 受影響城市的平均溫度（5-11°C）和相對濕度（44%-84%）測量值均相似，且近似於已知有利于冠狀病毒生存的實驗室條件（4°C和RH:20 %-80%）。
- 在撰寫這些結果時，新暴發大規模社區感染的中心包括德國和英格蘭的部分地區，這些地區在2020年1月和2020年2月的平均氣溫在5至11°C之間，均位於前述的危險區域中。

# 討論

- 溫度和濕度是SARS-CoV，MERS-CoV和流感存活率的已知因素，長期處於此溫度範圍內可能會增加疾病爆發的危險。
- 除了可能延長病毒的半衰期和生存能力外，與低溫和低濕度相關的其他潛在機制還包括飛沫的穩定化，鼻黏膜中增殖的增強以及局部innate immunity的減弱，這些已出現在其他呼吸道病毒的報告。
- 值得注意的是，即使在更冷的較北部緯度地區也相對沒有COVID-19，因此低溫的範圍是有限度的，可能是由於凍融循環(freeze-thaw cycles)的發生，凍融循環可能會影響病毒的生存力，但是已知至少一種人類冠狀病毒具有抗凍融性，也或許還有其他因素。

# 討論

- 雖然大多數的研究焦點都在RH上，但RH可能會受到溫度影響，因此我們的研究使用Q（絕對濕度的測量）來控制溫度變項。
- 之前研究也已發現，低的Q值是實驗室中流感感染和美國季節性流感發生的關鍵因素。
- 目前的研究都顯示溫度與SARS-CoV-2環境生存與擴散之間可能有直接相關。可進一步在實驗室類似的條件下，或從感染進行地區的環境樣本測試以及流行病學和氣候研究中驗證此假設。

# 討論

- 北半球許多地區的溫度在3月到5月會急劇上升，根據我們的簡化模型，這可能使許多地區處於危險之中。不過當前模型未考慮預測的溫度或比濕度，這將包含在將來的模型中。
  - 危險的較北部地區可能只是短暫地存在，因為這些地區會迅速變暖（美國西北部和英屬哥倫比亞省因為長期處於每年溫度最低點，將會是可能的例外地區:）。
- 隨著病毒向北移動，將遇到人口密度較低的人群，再加上氣候變量（例如雲層覆蓋，最高溫度），人為因素（例如公共衛生干預措施的結果，遊輪或旅行導致的集中爆發），以及病毒性因素（例如突變率，發病機轉）都並未考慮或分析，所以雖然與緯度，溫度和濕度的相關係非常強烈，但尚未證明直接因果關係，因此在進行短期估算時仍必須格外謹慎。

# 討論

- 通常會引起普通感冒症狀的人類冠狀病毒（HCoV 229E，HCoV HKU1，HCoV NL63和HCoV OC43）已顯示於12月至4月之間的強烈冬季季節性，於北半球溫帶地區的夏季無法偵測到。
- 雖然此階段要長期估算仍有困難，受COVID-19影響大於北緯30°地區，在未來幾個月以及夏季時期，有可能會大大降低。
- 鑑於SARS-CoV-2是最近才引入人類，可假設沒有預先存在的免疫力，如同2009年H1N1流感大流行，或在1400年代及1500年代所記載波斯和法國第一次的百日咳大流行相同，最初的流行都是不可預測。除了可能的季節性高峰外，也可能有較晚的季節性發生高峰的模式。

# 討論

- 未來幾年SARS-CoV-2病毒的傳播可能會遵循不同的模式
  - 它可能保持低度的流行，或在熱帶地區如流感般引起數個季節性高峰，也可同時在南半球暴發，並在來年溫帶地區的秋末和冬季再次上升。
- 如果結合公共衛生的努力，有可能像2003年的SARS-CoV一樣無法於夏季的熱帶地區和南半球維持生存並消失。目前全球病例數量的不斷增加使得這種可能性越來越小。
- 研究指出MERS-CoV是一種可以在所有季節傳播的betacoronavirus，不過大多數MERS-CoV病例都發生在阿拉伯半島，此處流感感染模式與多數溫帶氣候地區不同。
- 在即將到來的夏季，北半球對SARS-CoV-2當前受感染地區的監測工作相當重要，以確定是否存在病毒宿主。同樣在6月至9月之間熱帶地區的監測以確定人群中的感染狀況也相當有價值的。

# 討論

- 進一步的研究途徑包括整合的或耦合的流行病學-地球-人類系統模型(integrated or coupled epidemiological-earth-human systems models)，此模型可以納入氣候和天氣的進展和變數，例如溫度和濕度的動態及其時空變化，並模擬人類交互作用的情境。這樣的模型可以吸收同化當前正在收集的數據，以加速改善在短時間尺度的模型估計。
- 此種方法可使研究人員能夠探索問題：例如哪些人口中心面臨的風險最大以及會持續多久的時間；哪裡應加強大規模監測並加強控制措施以防止擴散；如何更能了解南半球病毒傳播的限制因素；以及如何估算2021年至2022年的病毒季節。
- 更深入了解冠狀病毒和其他呼吸道病毒的季節性原因無疑將有助於更好的治療和/或預防，並有助於確定哪些區域需要加強監測。

# 研究限制

- 由於檢測方法的可獲得性不同、每種檢測方法的敏感性和特異性以及報告的差異，不同國家所報告的病例數和死亡率數據就有差異。
- 其他影響傳播的潛在因素（例如其他氣候因素、公共衛生干預措施、旅行、人口密度、空氣污染、人口統計學特徵、病毒因素）並未包含在本研究中。

# 本篇重點

**研究目的:**severe acute respiratory syndrome coronavirus 2是否與季節性有關？

傳播性是否可以預測？

**結果:**共有50個有和沒有coronavirus disease 2019 (COVID-19)感染城市的 cohort study，研究發現嚴重社區感染COVID-19的地區大致沿北緯 $30^{\circ}$ 至 $50^{\circ}$ 的走廊地區分佈且具有極為類似的天氣模式，包括平均溫度為 $5$ 到 $11^{\circ}\text{C}$ 以及較低的比濕度（Specific humidity）和絕對濕度（absolute humidity）。

**意義:**在這項研究中，COVID-19疫情嚴重的社區沿著有限的緯度、溫度和濕度測量值分佈，這與季節性呼吸道病毒的行為一致；通過建模有可能預測嚴重社區感染COVID-19的高風險區域。