

颱風預報對臺灣農業減災及總體經濟之貢獻

楊晴雯¹ 林桓億² 張哲維³

¹中華經濟研究院助研究員 ²中華經濟研究院副研究員 ³中華經濟研究院輔佐研究員

摘 要

WMO (2019) 指出，藉由氣象（及氣候）資訊服務的應用，可促使農漁民做出最適生產決策，提升生產效率，預計全球每年可減少20億美元的資產損失。農業氣象應用所產生的效益類型相當多元，本文評估焦點著重於農漁民獲取氣象預報（颱風）資訊後，在不確定的情況下進行的防災決策，如何因為預報的精準度而受到影響，而決策的變化又如何反映出預報改善的價值。為了完成此研究目的，本文採取多方法整合評估的方式，依序透過農業損害函數建構颱風事件與農業災損之間的關聯、利用蒙地卡羅方法取得颱風事件強度之超越機率及農業年均災損、接著使用損失成本法計算農漁民在風險下的決策所帶來的災損期望值、最後將農漁業災損期望值帶入可計算一般均衡模型模擬總體經濟的變化。研究結果顯示，若提升長期預報準確性，使資訊使用者獲得更長的應變時間減少災損，則減少災損比重每增加10%即可提高3.31億元之全國產值；若加強氣象服務廣宣以促進使用者信賴，則使用者主觀準確率每提升10%即可創造新臺幣 3.36 億元之全國產值；若同時提升預報準確性及使用者信賴程度各 10%，預計可創造全國產值新臺幣 3.46 億元。

一、前言

近年來極端天氣事件益見頻繁，2008 至 2018 年之間全球農漁業的累計災損高達 2,800 億美元 (FAO, 2021)。為了避免災損擴大，WMO (2019) 指出藉由氣象（及氣候）資訊服務的應用，可促使農漁民做出最適生產決策，提升生產效率；預計全球每年產出可

增加 300 億美元，或減少 20 億美元的資產損失。有鑑於此，國際相關組織都挹注資金支持氣象(及氣候)資訊服務的應用。例如，GCF (Green Climate Fund) 投入約 15.5 億美元，用於跨部門應用研究 (75%) 和執行水文氣象服務品質提升的計畫 (25%)；全球環境基金 (Global Environment Facility) 挹注約 4.15 億美元，用以資助氣候服務及早期預警系統

的研發計畫 (WMO, 2019)。

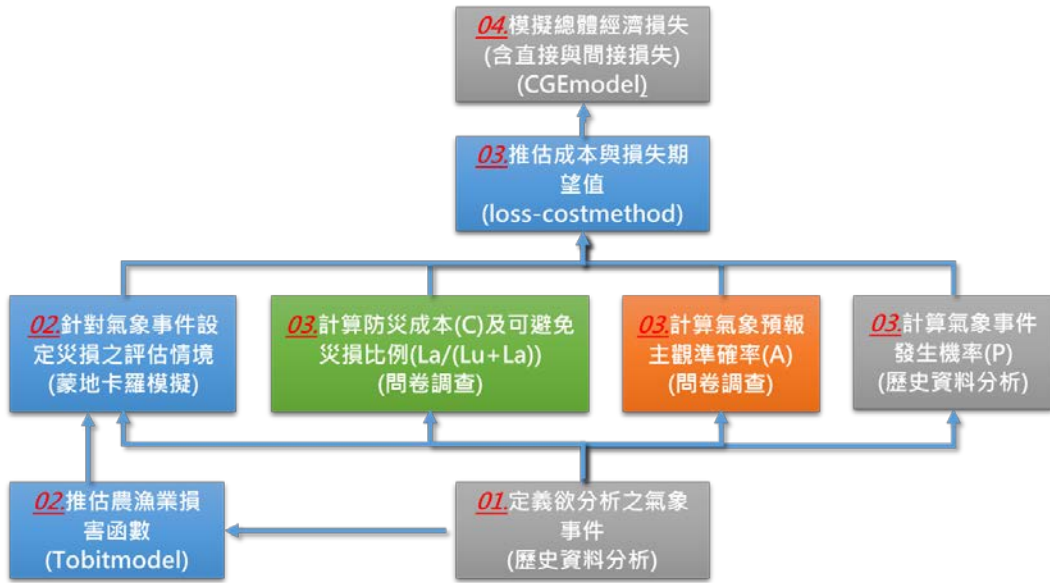
鑑於氣象與氣候服務的創新量能需要大量期初投資以及時間累積，因此相關資源的投入日後究竟能為國家社會帶來多少的貢獻或效益，成為氣象與氣候服務投資必要的評估工作。然而，不同的氣象產品或服務，因為服務對象、功能、服務時間尺度以及推廣策略的差異，使得效益產生的來源有所不同，例如長期預報技術精進可提供農民提早進行栽種管理減緩災損；若在農產密集地域新增觀測站，則可能因氣象預測準確提高進而提升資訊使用者使用意願；或是進行跨領域合作促使單一服務同時衍生多項效益；甚至資訊傳遞與應用的功能整合就可以大幅消除資訊使用障礙。這也說明氣象服務要為社會帶來貢獻，存在許多目的相同但效果各異的策略。

本文評估焦點著重於農漁民獲取氣象預報(颱風)資訊後，在不確定的情況下進行的防災決策，如何因為預報的精準度而受到影響，而決策的變化又如何反映出預報改善的價值。這個研究主題牽涉到價值如何界定。從決策角度出發的氣象資訊服務價值主要體現在「終端資訊使用者應用氣象資訊服務後，其行為決策可能產生的價值」(C.I.E., 2014; The Ministry of Transport and Energy, Denmark, 2006)。資訊以及決策結果的不確定性，加深了氣象事件本身帶來的風險意識。在風險趨避的原則下，盡可能避免災害損失成為決策最保守的採行原則。於是，氣象服務在農漁民

防災決策下所產生的經濟價值是透過「避免的災損」來衡量。

二、整合評估方法及流程

由於本研究目的涉及氣象事件發生的機率及其造成農業災害的風險、氣象預報的精準度、農漁民主觀對氣象預報的判斷與信賴、農漁民在風險之下的防災決策以及各種決策下所必須負擔的成本以及面臨的損失、農漁業損失最終導致整個經濟體系的波動與未防災的代價等等考量，因此需要透過多種方法整合評估，才能為這個流程中的每一道關卡及問題提供解答。是故，本研究建構了四步驟的評估流程(圖1)：(1) 透過農業損害函數建構颱風事件與農業災損之間的關聯；(2) 利用蒙地卡羅方法取得颱風事件強度之超越機率及農業年均災損期望值；(3) 接著使用損失成本法計算農漁民在風險下的決策所帶來的損失與成本變化，若可使避免的災損扣除增加的成本淨額期望值為正，則產生氣象預報為農漁民帶來的直接經濟價值；(4) 最後將農漁業直接經濟價值代入可計算一般均衡模型模擬總體經濟的變化。



資料來源：本研究繪製。

圖 1 農漁業氣象應用服務之總體社會經濟價值評估流程

三、評估步驟及結果

(一) 農漁業損害函數推估

損害函數的推估主要目的在建構颱風事件與農業災損之間的關聯，有了這個關聯，只要能獲得颱風的最大平均風速、最大連續 24 小時雨量、颱風侵臺路徑等預測資訊，即可推算北、中、南、東四區七大農漁產業的災損值。本研究經探訪氣象專家並參考栽培曆資訊後，選擇以颱風強度、侵臺路徑、受災地區等解釋變數估計六大作物及內陸養殖災損之關聯性，建立颱風損害函數。

由於颱風侵臺所產生的災損與颱風路徑以及受災地區有關，故同一個颱風可能造成災損集中出現在特定區域，仍有部分地區

的災損值（被解釋變數）為 0，為避免估計時 OLS 存在的偏誤及不一致性問題，故參考文獻以 Totbit 模型進行推估：

$$\ln y_c = \alpha_{0,c} + \alpha_{1,c} \ln w + \alpha_{2,c} \ln pp + \sum_{R=1}^3 \alpha_{2+R,c} D_R + \sum_{T=2}^9 \alpha_{4+T,c} D_T$$

式中 C 代表截距項；Ln(W)為測站最大平均風速取自然對數；Ln(PP)代表最大連續 24 小時雨量取自然對數； D_R 為北中南東四區之虛擬變數， $D_1 = 1$ 為北部地區， $D_2 = 1$ 為中部地區， $D_3 = 1$ 為南部地區，當三者同時為 0 時，則為東部地區； D_T 為颱風侵臺的路徑之虛擬變數，依據中央氣象局之路徑分類，共分為 10 類，且以第 10 類（特殊路徑）作為比較基準。

在經過變數篩選與相關檢定後，估計結果（附件表）顯示，測站最大平均風速和最大

連續 24 小時雨量對於六大作物災損皆有顯著影響。相較之下，最大平均風速的影響程度大於最大連續 24 小時雨量。其中，最大平均風速每增加 1%，依據不同作物，對災損影響程度約落在 2.51-4.11%；最大連續 24 小時雨量則落在 0.52- 1.37%。

(二) 颱風的超越機率及年均災損期望值推估

颱風強度與災損關係確立後，接著必須計算每一個侵臺颱風不同降雨強度發生的機率，以及不同強度颱風侵臺的機率，以便計算災損期望值。每一個侵臺颱風不同降雨強度發生的機率係透過事件分配表來建立。不同颱風強度會有不同的累積降水量，當累積降水量超過作物生長可忍受範圍，就會產生災損。因此彙整過去 20 年颱風侵臺事件對映的最大連續 24 小時累積降雨量，再參考 Sturges(1926)方法將由低至高的累積雨量區分為 k 組，以建立事件分配表(表 1)。有了事件分配表，接著將表中不同事件強度(降雨量)帶入農漁業損害函數計算對映事件之災損，形成事件損失表(表 2)。

至於不同強度颱風侵臺機率，則透過蒙地卡羅模擬氣象事件平均每年不同強度颱風發生的次數。蒙地卡羅模擬不同最大連續 24 小時雨量(颱風強度)每年可能發生的次數。假設每年颱風發生次數服從朴瓦松分配

(Poisson Distribution)，在經過 10,000 次模擬後，即產生 10,000 組對映降雨強度及災損金額之發生頻率，最後，利用可能發生的次數和作物災損，建立總損失超越機率曲線(aggregate loss exceedance probability)。該曲線下涵蓋的面積即為年均災損期望值，模擬結果如表 3 所示。

(三) 農漁民防災決策之直接經濟價值

損失成本法是參考貝氏決策理論(Bayesian Decision Theory)而衍生出的分析方法(C.I.E., 2014)。簡單來說，即在資訊不確定下，給定事件發生概率，計算年均災損期望值(Expected Annual Damage, EAD)。

假設颱風侵臺並導致災害發生的機率為 P ，不發生的機率為 $1-P$ 。而氣象服務根據模式預測結果，發布颱風預報。農漁民接收到預報後，可能根據其過往經驗和主觀的認知，判斷預報是否正確，並決定是否採取防災行動。假設農漁民主觀判斷正確的機率為 A ，不正確的機率是 $1-A$ 。因此當發出颱風警報，農漁民判斷此一颱風警報為真，結果颱風確實侵臺，則颱風侵臺且農漁民判斷正確之聯合機率以 H 代表。

表 1 歷年颱風最大連續 24 小時雨量示意表

| 最大連續 24 小時雨量 (mm) | 1999-2019 年發生次數 | 平均每年發生次數 (λ_i) | 平均最大連續 24 小時雨量 (mm) |
|-------------------|-----------------|--------------------------|---------------------|
| 事件 1 : 0-62 | 28 | 1.33 | 21 |
| 事件 2 : 63-124 | 23 | 1.10 | 92 |
| 事件 3 : 125-186 | 10 | 0.48 | 158 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 事件 n : 435-496 | 1 | 0.05 | 494 |

註：事件 n 代表不同颱風強度的最大連續 24 小時雨量。

表 2 事件損失表

| 最大連續 24 小時雨量 (mm) | 發生頻率 (λ_j) - 次/年 | 平均最大連續 24 小時雨量 (mm) | 災損期望值 (新臺幣億元) | | | | | |
|-------------------|----------------------------|---------------------|---------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------|
| | | | 水稻 | 雜糧 | 特用作物 | 蔬菜 | 水果 | 其他園藝 |
| 北部地區 | | | | | | | | |
| 0-62 | 1.33 | 21 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.04 | 0.00 |
| 63-124 | 1.10 | 92 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.14 | 0.30 | 0.01 |
| 125-186 | 0.48 | 158 | 0.06 | 0.01 | 0.01 | 0.22 | 0.63 | 0.01 |
| 187-248 | 0.19 | 200 | 0.07 | 0.02 | 0.02 | 0.28 | 0.87 | 0.02 |
| 249-310 | 0.14 | 274 | 0.08 | 0.02 | 0.02 | 0.37 | 1.35 | 0.02 |
| 311-372 | 0.14 | 338 | 0.09 | 0.02 | 0.03 | 0.44 | 1.79 | 0.02 |
| 373-434 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 435-496 | 0.05 | 494 | 0.11 | 0.03 | 0.04 | 0.63 | 3.02 | 0.03 |
| 小計 | | | 0.46 | 0.11 | 0.46 | 2.11 | 8.01 | 0.12 |
| 中部地區 | | | | | | | | |
| 0-71 | 0.08 | 28 | 0.08 | 0.09 | 0.01 | 0.23 | 0.10 | 0.04 |
| 72-142 | 0.16 | 103 | 0.16 | 0.22 | 0.04 | 0.75 | 0.62 | 0.10 |
| 143-213 | 0.22 | 185 | 0.22 | 0.32 | 0.07 | 1.26 | 1.37 | 0.16 |
| 214-284 | 0.25 | 236 | 0.25 | 0.38 | 0.08 | 1.58 | 1.91 | 0.19 |
| 285-355 | 0.29 | 325 | 0.29 | 0.47 | 0.11 | 2.10 | 2.96 | 0.25 |
| 356-426 | 0.33 | 404 | 0.33 | 0.54 | 0.13 | 2.55 | 3.98 | 0.30 |
| 427-497 | 0.34 | 446 | 0.34 | 0.58 | 0.15 | 2.79 | 4.57 | 0.32 |
| 498-568 | 0.39 | 568 | 0.39 | 0.68 | 0.18 | 3.47 | 6.35 | 0.39 |
| 小計 | | | 2.06 | 3.27 | 0.77 | 14.73 | 21.86 | 1.75 |
| 南部地區 | | | | | | | | |
| 0-77 | 1.52 | 37 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.14 | 0.22 | 0.01 |
| 78-154 | 0.95 | 109 | 0.06 | 0.02 | 0.02 | 0.38 | 0.98 | 0.01 |
| 155-231 | 0.48 | 184 | 0.08 | 0.03 | 0.03 | 0.61 | 2.00 | 0.02 |
| 232-308 | 0.24 | 245 | 0.09 | 0.04 | 0.04 | 0.79 | 2.98 | 0.03 |
| 309-385 | 0.19 | 328 | 0.10 | 0.04 | 0.06 | 1.03 | 4.43 | 0.03 |
| 386-462 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 463-539 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |

| | | | | | | | | |
|---------|------|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| 540-616 | 0.05 | 614 | 0.14 | 0.07 | 0.10 | 1.81 | 10.46 | 0.05 |
| | | 小計 | 0.50 | 0.20 | 0.26 | 4.77 | 21.08 | 0.15 |
| 東部地區 | | | | | | | | |
| 0-49 | 0.67 | 31 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.09 | 0.07 | 0.01 |
| 50-98 | 0.81 | 77 | 0.04 | 0.01 | 0.03 | 0.20 | 0.25 | 0.01 |
| 99-147 | 0.62 | 121 | 0.04 | 0.02 | 0.05 | 0.31 | 0.47 | 0.02 |
| 148-196 | 0.62 | 176 | 0.05 | 0.02 | 0.06 | 0.43 | 0.78 | 0.02 |
| 197-245 | 0.38 | 213 | 0.06 | 0.02 | 0.08 | 0.51 | 1.02 | 0.03 |
| 246-294 | 0.29 | 257 | 0.07 | 0.03 | 0.09 | 0.60 | 1.31 | 0.03 |
| 295-343 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 344-392 | 0.05 | 391 | 0.08 | 0.04 | 0.13 | 0.88 | 2.33 | 0.04 |
| | | 小計 | 0.36 | 0.14 | 0.46 | 3.02 | 6.24 | 0.16 |

資料來源：本研究計算。

表 3、年均總災損期望值推估

| 單位：新臺幣億元 | | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|-------|------|------|
| | 水稻 | 雜糧 | 特用作物 | 蔬菜 | 水果 | 其他園藝 | 內陸養殖 |
| 北部 | 0.15 | 0.03 | 0.03 | 0.50 | 1.44 | 0.03 | -- |
| 中部 | 0.52 | 0.73 | 0.15 | 2.81 | 3.31 | 0.36 | -- |
| 南部 | 0.19 | 0.07 | 0.07 | 1.35 | 4.32 | 0.05 | -- |
| 東部 | 0.15 | 0.06 | 0.17 | 1.09 | 1.91 | 0.06 | -- |
| 全國 | 1.00 | 0.88 | 0.42 | 5.75 | 10.98 | 0.49 | 1.30 |

資料來源：本研究計算。

此時，農漁民因判斷颱風將影響臺灣，會事先採取一些防範措施，而產生防災成本（C），但防範工作在實際上並非百分之百有效，故其同時面臨不可避免的災損（Lu）。若沒有發出氣象警報，農漁民也判斷颱風不會影響臺灣，事後颱風確實沒有侵臺，這表示颱風未侵臺而且農漁民判斷正確，其聯合機率以 Q 表示。此時農漁民將不會採取任何防範措施，也不會有任何損失。

相反的，如果氣象資訊服務沒有發布警報，農漁民也判斷颱風不會侵臺，但颱風確實

侵臺了，這表示颱風侵臺但農漁民的判斷不正確，其聯合機率為 M。此時，農漁民因未採取防災行動而沒有防災成本，但卻因為沒有防災而有災損，此一災損為可避免之災損（La）和不可避免之災損（Lu）的總和。最後，若發布颱風警報，農漁民也判斷颱風會侵臺，但結果颱風卻未影響臺灣，這表示颱風未侵臺而且農漁民的判斷不正確，其聯合機率為 F。此時農漁民會採取防災行動，因而產生防災成本（C），但因颱風未侵臺，故不會有任何災損。

表 4 氣象資訊與防災成本/損失關聯表

| 氣象資訊服務 氣象因子 | 預測正確 | 預測不正確 | |
|----------------|---|---|-----------|
| 發生 | $H_{it} = A * P$ (C + L _u) | $M_{iss} = (1-A) * P$ (L _u + L _a) | P = H + M |
| 沒發生 | $Q_{uiet} = A * (1-P)$ (0) | $False\ alarm = (1-A) * (1-P)$ (C) | 1 - P |
| | A = H + Q | 1 - A | |

資料來源：Verkade and Werner (2011)。

要評估氣象預報的經濟價值，我們可以考慮兩種極端情境和一種中間情境：(1) 完全沒有氣象預報的情境(*expected annual damage with no warning*, EAD_{nowarn})：災害發生前，沒有任何預報資訊，農漁民不會採取任何防災措施，故損失期望值完全取決於颱風發生的機率，如式 (1) 所示；(2) 完美預報的情境($EAD_{perfect}$)：不管災害是否發生，氣象服務機構都能百分之百的正確預測，此時 A 為 100%，損失期望值如式 (2) 所示；(3) 現有的(不完美的)預報情境(EAD_{system})：有氣象預報，但其資訊並非百分之百的準確，故損失期望值如式 (3) 所示。

$$EAD_{nowarn} = P \times (L_u + L_a) + (1 - P) \times 0 \quad (1)$$

$$EAD_{perfect} = P \times (C + L_u) + (1 - P) \times 0 \quad (2)$$

$$EAD_{system} = H \times (C + L_u) + Q \times 0 + F \times C + M \times (L_u + L_a) = PL_u + (H + F)C + ML_a \quad (3)$$

利用上述的情境設定，我們可把現有氣象資訊服務的經濟價值率(*relative economic value*, REV) 定義為：相對於百分之百準確的氣象資訊以及完全沒有氣象資訊的情況，現有的氣象資訊對於減少損失期望值的貢獻(Murphy, 1985；Verkade and Werner, 2011；

Zhu et al., 2002)，如式 (4) 所示：

$$REV = \frac{EAD_{nowarn} - EAD_{system}}{EAD_{nowarn} - EAD_{perfect}} \quad (4)$$

將式 (1) 至式 (3) 代入式 (4)，可以得到式 (5)：

$$REV = \frac{P(L_u + L_a) - [PL_u + (H + F)C + ML_a]}{P(L_u + L_a) - P(C + L_u)} = \frac{PL_a - (H + F)C - ML_a}{PL_a - PC} = \frac{P - (H + F)r - M}{P(1 - r)} \quad (5)$$

其中， $r = C/L_a$ 是防災成本和(因防災而)預期可避免之災損的比值，事實上就是防災的成本效益比，通稱「成本損失比」(*cost-loss ratio*)。

假設生產決策者完全信賴預報資訊，則當預報事件即將發生，農漁生產者是否採取防災行動，決定於防災的成本效益，也就是，決定於防災成本和(因防災而)預期可避免之災損的相對大小。只有在防災預期成本小於不採取防災行動的預期損失時，也就是，只有在事件發生的機率 P 大於成本損失比時，才值得採取行動：

$$C + PL_u < P(L_u + L_a) \Rightarrow P > \frac{C}{L_a} = r \quad (6)$$

由於 $C + PL_u = EAD_{perfect}$ 而且 $P(L_u + L_a) = EAD_{nowarn}$ ，式(6)也代表氣象服務機構發布預報是否有經濟效益，取決於生產決策者採取防災措施的損失期望值是否低於不採取行動的損失期望值。

上述成本效益比較的涵義是：只有當生產決策者採取防災措施的損失期望值低於不採取行動的損失期望值時，氣象資訊服務的經濟價值才會實現。同時，由於生產決策者只在預報機率大於成本損失比時，才會採取行動，因此，提高氣象預報的準確率，並及早預警，才能讓農漁生產者有較精確的資訊進行成本效益的衡量，並有足夠的時間採取必要的行動。

利用「成本損失比」而求得各類作物及養殖漁業在「完全沒有氣象預報」、「現有(不完美)預報」、「完美預報」之下的年損失期望值之後，若將「完全沒有氣象預報」之下的損失扣除「現有(不完美)預報」之下的損失，就是既有的氣象預測服務所帶來的直接價值。若將「完全沒有氣象預報」之下的損失扣除「完美預報」下的損失，則為氣象預測所能產生的最大潛在價值。兩者的比值，就是上述的現有氣象資訊服務之經濟價值率 (REV)。

本研究由不同方式取得式(1)至式(6)中各項參數。首先颱風侵臺的客觀機率 P ，係來自近 20 年(2001-2020 年)，「有發警報颱風列表」的次數為 125 次，實際侵臺的次數則有 72 次，計算發生機率為 57.60%。其次，根據本研究的調查結果，六大作物農民對整體氣象資訊服務的預測滿意度 (A)，依不同

作物別，約落在 63.12% 至 80.00%。本章乃依此數據設定氣象預報資訊的(主觀)準確率。

接著透過問卷取得防災成本、防災可避免之災損比例，再計算無氣象服務、完美預報及現有預報下之損失期望值。以水稻為例，「完全沒有氣象預報」情境下的損失期望值，取自步驟(二)損失期望值估計結果，為新臺幣 1.0 億元，根據調查結果水稻的可避免的損失 (L_a) 及不可避免損失 (L_u) 之佔比為 40% 和 60%，因此分別為新臺幣 0.40 和 0.60 億元。另外，颱風侵臺機率 P 為 57.60%，把這些數值代入式(1)，即可得到無氣象資訊服務下的年均災損值，為 0.58 億元。

利用同樣的方法和式(2)與式(3)，可以算出「完美預報」情境下的年損失期望值新臺幣 0.35 億元和「現有(不完美)預報」情境下的年損失期望值新臺幣 0.41 億元。根據 EAD_{nowarn} 和 EAD_{system} ，我們就可算出稻農應用現有的氣象資訊服務時可獲得的經濟效益(現有氣象資訊服務的直接經濟價值)，也可以算出其他農作應用現有的氣象資訊服務時可獲得的經濟效益。結果是，水稻、雜糧、特用作物、蔬菜、水果、其他園藝及內陸養殖所獲得的經濟效益分別約為：新臺幣 0.17、0.06、0.09、0.03、0.45、0.23 及 0.10 億元；農民將氣象資訊服務用於防颱工作的直接價值合計約為每年新臺幣 1.12 億元(表 5)。

表 5 農業應用氣象資訊的直接經濟價值

單位：新臺幣億元

| 結果 | 單位 | 水稻 | 雜糧 | 特用作物 | 蔬菜 | 水果 | 其他園藝 | 內陸養殖 | 備註 |
|----------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| EAD_{nowarn} | 億元 | 0.58 | 0.51 | 0.24 | 3.31 | 6.33 | 0.28 | 0.75 | A |
| EAD_{system} | 億元 | 0.41 | 0.45 | 0.15 | 3.29 | 5.87 | 0.06 | 0.65 | B |
| $EAD_{perfect}$ | 億元 | 0.35 | 0.41 | 0.12 | 3.28 | 5.71 | 0.00 | 0.51 | C |
| 最大的氣象資訊服務價值 | 億元 | 0.23 | 0.10 | 0.12 | 0.04 | 0.62 | 0.28 | 0.23 | D= A-C |
| 現有氣象資訊服務價值 | 億元 | 0.17 | 0.06 | 0.09 | 0.03 | 0.45 | 0.23 | 0.10 | E= A- B |
| 氣象資訊服務價值提升潛能 | 億元 | 0.06 | 0.04 | 0.03 | 0.01 | 0.16 | 0.06 | 0.13 | F= D- E |
| 氣象資訊服務的相對經濟價值率 (REV) | % | 73.97 | 63.12 | 75.00 | 69.49 | 73.24 | 80.00 | 43.03 | (A-B)/(A-C) |
| 氣象預報主觀準確率(A) | % | 74.46 | 63.12 | 75.00 | 74.86 | 73.42 | 80.00 | 71.41 | 問卷調查結果 |
| 可避免損失比重 $La/(La+Lu)$ | % | 40.21 | 19.16 | 48.61 | 1.48 | 9.82 | 99.59 | 73.22 | 問卷調查結果 |

說明：氣象資訊服務的相對經濟價值率 (relative economic value, REV) 係指「相對於颱風預報準確率達 100% 以及完全沒有氣象資訊的情況，現有的不完美的預報準確率對於減少損失期望值的貢獻」。

最後，藉由上述三種損失期望值和式 (4)，我們可算出「相對於颱風預報準確率達 100% 以及完全沒有氣象資訊的情況，現有的不完美的預報準確率對於減少損失期望值的貢獻」，也就是現有氣象資訊服務水準已達成的「相對經濟價值率」(relative economic value, REV)。如表 5 所示，各作物已獲得的相對經濟價值率分別為：73.97% (水稻)、63.12% (雜糧)、75.00% (特用作物)、69.49% (蔬菜)、73.24% (水果)、80.00% (其他園藝)、43.03% (內陸養殖)。除此之外，如果氣象預報準確率能提高，或防災成本能降低，則氣象資訊的服務價值會再增加，價值增長的最大潛

能則為新臺幣 0.01- 0.13 億元。

(四) 總體社會經濟價值

為了分析氣象損害與氣象服務的總體經濟效果，我們把氣象損害的直接衝擊效果放進可計算一般均衡 (computable general equilibrium, CGE) 模型的產業生產函數裡。式 (7) 代表產業 a 之生產函數，等號左方的變數是產品的生產量，等號右方則包含生產活動所需要的各類原始要素 (勞動、資本)、中間投入 (原物料)、以及氣象損害衝擊參數 (DS_a)。在沒有颱風的情況下，氣象損害衝擊參數是 1 ($DS_a = 1$)，表示廠商的生產力維

持在日常水準 (α_a^a)；而當受到颱風衝擊時，氣象損害衝擊參數小於 1 ($DS_a < 1$)，這表示即使投入與平常數量相同品質相等的勞動、資本、原物料，所得到產量會減少，也就是生產力下降，低於日常水準。

$$QA_a = DS_a^a \cdot \alpha_a^a \cdot \left(\delta_a^a \cdot QVA_a^{-\rho_a^a} + (1 - \delta_a^a) \cdot QINTA_a^{-\rho_a^a} \right)^{\frac{1}{\rho_a^a}}, \quad (9-7)$$

藉由步驟 (三) 取得表 5 之損失期望值後，模型中應存一組 DS_a 使七類農漁產品在各種情境中的生產量 (QA_a) 減少。為了求解這一組 DS_a ，我們先把七類農漁產品的產量 QA_a 固定在基期年水準，然後以此減去表 5 所列

的損失期望值，而得到災後產量，再藉此反推 DS_a ，並根據這些推估結果來設定七類農漁產品的 DS_a ，回去求解受颱風衝擊之後的 QA_a ，而得到模擬的結果。

由表 5 之損失期望值經前述模擬結果，現有的氣象資訊服務每年約可創造新臺幣 1.83 億元 GDP，帶來新臺幣 2.22 億元的總產值，使家庭實質所得增加新臺幣 2.2 億元、民間消費增加新臺幣 0.97 億元，同時維持物價穩定，讓颱風造成的物價上漲率降低 0.0013 個百分點。而在颱風侵臺機率等參數都不變的情況下，尚有近四成的潛在價值可以透過一些新創手段來實現 (表 6)。

表 6 氣象資訊服務的總體經濟價值

單位：新臺幣億元

| | 農漁業損失帶來的總體經濟衝擊* | | | | |
|---|-----------------|--------|-------|--------|----------|
| | GDP | 產值 | 民間消費 | 家庭實質所得 | 消費者物價(%) |
| EAD_{nowarn} | -18.67 | -30.59 | -9.66 | -30.21 | 0.0218 |
| EAD_{system} | -16.84 | -28.37 | -8.69 | -28.01 | 0.0205 |
| $EAD_{perfect}$ | -15.84 | -27.06 | -8.16 | -26.58 | 0.0195 |
| 氣象資訊服務的總體經濟價值 | | | | | |
| 氣象資訊服務的最大總體經濟價值 ($EAD_{perfect} - EAD_{nowarn}$) | 2.83 | 3.52 | 1.49 | 3.63 | -0.0023 |
| 現有氣象資訊服務總體經濟價值 ($EAD_{system} - EAD_{nowarn}$) | 1.83 | 2.22 | 0.97 | 2.20 | -0.0013 |
| 氣象資訊服務價值提升潛能 ($EAD_{perfect} - EAD_{system}$) | 1.00 | 1.31 | 0.53 | 1.43 | -0.0010 |
| 氣象資訊服務的相對經濟價值率 REV(%)** | 64.69 | 62.92 | 64.71 | 60.62 | 57.91 |

* 指在三種氣象預報情境下，各項總體經濟指標相對於未發生災損之變化量。

** 氣象資訊服務的相對經濟價值率 (relative economic value, REV) 係指「相對於颱風預報準確率達 100% 以及完全沒有氣象資訊的情況，現有的不完美預報已實現的經濟價值」。

若經由氣象預報客製化的程度提高、或預報準確率提高，而使農漁民對氣象預報的主觀準確率提高 10%，在此情況下，總體經濟價值模擬結果如表 7 所示。結果顯示，主觀準確率提升之後，現有氣象資訊服務每年可創造的 GDP 增加為新臺幣 2.33 億元，總產

值增加為新臺幣 2.88 億元，家庭實質所得增幅上升為新臺幣 2.92 億元、民間消費增幅變為新臺幣 1.23 億元，使颱風所造成的物價上漲率降低 0.0018 個百分點。

表 7、氣象預報主觀準確率提升 10%的總體經濟價值

單位：新臺幣億元

| | 農漁業損失帶來的衝擊* | | | | |
|---|-------------|--------|-------|--------|----------|
| | GDP | 產值 | 民間消費 | 家庭實質所得 | 消費者物價(%) |
| EAD_{nowarn} | -18.67 | -30.59 | -9.66 | -30.21 | 0.0218 |
| EAD_{system} | -16.34 | -27.71 | -8.43 | -27.29 | 0.0200 |
| $EAD_{perfect}$ | -15.84 | -27.06 | -8.16 | -26.58 | 0.0195 |
| 氣象資訊服務總體經濟價值 | | | | | |
| 氣象資訊服務的最大總體經濟價值 ($EAD_{perfect} - EAD_{nowarn}$) | 2.83 | 3.52 | 1.49 | 3.63 | -0.0023 |
| 現有氣象資訊服務總體經濟價值 ($EAD_{system} - EAD_{nowarn}$) | 2.33 | 2.88 | 1.23 | 2.92 | -0.0018 |
| 氣象資訊服務價值提升潛能 ($EAD_{perfect} - EAD_{system}$) | 0.50 | 0.64 | 0.27 | 0.71 | -0.0005 |
| 氣象資訊服務的相對經濟價值率 REV(%)** | 82.34 | 81.73 | 82.18 | 80.42 | 79.26 |

*指在三種氣象預報情境下，各項總體經濟指標相對於基準情境之變化量。

**氣象資訊服務的相對經濟價值率 (relative economic value, REV) 係指「相對於颱風預報準確率達 100% 以及完全沒有氣象資訊的情況，現有的不完美預報已實現的經濟價值」。

四、結語

本文整合多種方法，對農漁業氣象服務的總體社會經濟價值進行評估。我們以颱風預測為例，說明現有的颱風預報服務因為降低了農漁業災損，而平均每年直接與間接地創造了新臺幣 1.83 億元的 GDP、帶來新臺幣 2.22 億元總產值、使家庭實質所得增加新臺幣 2.2 億元、民間消費增加新臺幣 0.97 億元，同時維持物價穩定，可讓颱風造成的物價上漲率降低 0.0013 百分點。在颱風侵臺機率等相關參數都不變的情況下，未來尚有近四成

的潛在價值可以透過一些新創手段來實現。若主觀準確率能提高 10%，則颱風預報服務每年創造的 GDP 價值可增加為新臺幣 2.33 億元，總產值增加為新臺幣 2.88 億元。

本章對於氣象服務的評價雖然集中於颱風預報可避免的農漁災損，及其所衍生的總體社會經濟價值，但本章的研究方法和所建立的社會經濟決策系統，其功能和應用範圍不限於此，而可以擴展到農漁業的其他生產決策範圍，例如：

(一) 氣象服務本身所創造的產業價值

在氣象服務提供資訊或服務的過程中，其本身即因為投入資本、人力與資源，而對總體經濟產生了貢獻。如何評估氣象服務本身所創造的產業價值，包含具體數據的蒐集、評價方法的開發，仍有待進一步的研究。

(二) 氣象服務還有更廣泛的決策應用範圍

為了應用「成本損失比」的方法來計算氣象資訊服務的直接價值，我們投入大量的資源及人力，進行田野調查、蒐集相關資料。在時間資源的限制下，本章聚焦於颱風預報對於降低農漁業災損和總體社會經濟損失的貢獻。但氣象資訊服務的範圍不限於防颱，農漁民和各行各業都會把氣象資訊應用於其他方面的行動決策，例如作物種植或魚蝦養殖的管理。因此，氣象資訊服務的整體價值遠高於其對農漁業防颱避災的貢獻。

(三) 從案例評估到業務導向的價值評估

本章建構氣象服務的總體社會經濟價值評估架構，並以颱風為案例，建立情境分析和價值評估的決策支援系統。此一機制不限於理論分析，新開發的氣象預報工具或產品，可利用此一決策架構來進行業務導向的評量，以作為開發決策的參考，並符合實務的需求。

* 本研究結果感謝以下交通部中央氣象局之委辦研究計畫補助：
林桓億、劉哲良、劉柏定等。2021。「110年度農漁業氣象資訊服務的社會經濟效益評估

與決策應用分析案」。交通部中央氣象局委外辦理研究案。1102002B。財團法人中華經濟研究院。

五、參考文獻

- Centre for International Economics. (2014). Analysis of the benefits of improved seasonal climate forecasting for agriculture. Sydney, Australia: Centre for International Economics. Retrieved from <http://www.climatekelpie.com.au/Files/MCV-CIE-report-Value-of-improved-forecasts-agriculture-2014.pdf>
- FAO, 2021. “The impact of disasters and crises on agriculture and food security,” Rome, Italy: FAO. (<http://www.fao.org/3/cb3673en/cb3673en.pdf>) (2021/06/21).
- Murphy, A. H. (1985). “Decision Making and the Value of Forecasts in a Generalized Model of the Cost-loss Ratio Situation.” *Monthly Weather Review*, 113(3): 362-369.
- The Ministry of Transport and Energy (2006). *Meteorology – a Revenue Generating Science*. Denmark, Copenhagen: The Ministry of Transport and Energy Press. Retrieved from <https://docplayer.net/21428033-Meteorology-a-revenue-generating-science-a-mapping-of-meteorological-services-with-an-economic-assessment-of-selected-cases.html>.

Verkade, J. S. and M. G. F. Werner (2011).

“Estimating the Benefits of Single Value and Probability Forecasting for Flood Warning.” *Hydrology and earth system sciences*, 15(12): 3751-3765.

WMO, 2019. “WMO Strategic Plan 2020-2023.

WMO-No. 1225,” Geneva, Switzerland: WMO.

(https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9939) (2020/06/24) .

Zhu, Y., Z. Toth, R. Wobus, D. Richardson, and

K. Mylne (2002). “The Economic Value of Ensemble-based Weather Forecasts.” *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(1): 73-84.

附件表、作物 / 內陸養殖損害函數估計結果

| 被解釋變數 | 水稻 | 雜糧 | 特用作物 | 蔬菜 | 水果 | 其他園藝 | 內陸養殖 |
|--------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| C | -6.5916 (0.0438)** | -10.9340 (0.0000)*** | -10.8099 (0.0001)*** | -3.9157 (0.0229)** | -9.9169 (0.0000)*** | -9.5424 (0.0009)*** | |
| Ln(W) | 3.1431 (0.0009)*** | 3.8006 (0.0000)*** | 4.1130 (0.0000)*** | 2.5058 (0.0000)*** | 3.6546 (0.0000)*** | 3.9630 (0.0000)*** | 0.6893 (0.5280) |
| Ln(PP) | 0.5187 (0.0825)* | 0.6749 (0.0007)*** | 0.8916 (0.0000)*** | 0.9008 (0.0000)*** | 1.3694 (0.0000)*** | 0.7975 (0.0057)*** | 1.7273 (0.0061)*** |
| R1 | 0.4015 (0.484) | -0.0619 (0.8784) | -1.0602 (0.0146)** | -0.3411 (0.3027) | 0.2434 (0.4472) | -0.0835 (0.8642) | |
| R2 | 2.0095 (0.0003)*** | 3.4799 (0.0000)*** | 0.8166 (0.0457)** | 1.5481 (0.0000)*** | 1.2354 (0.0001)*** | 2.7159 (0.0000)*** | |
| R3 | 0.8463 (0.0956)* | 0.9486 (0.0086)*** | -0.0192 (0.9602) | 0.7353 (0.0202)** | 1.4944 (0.0000)*** | 0.4981 (0.3045) | |
| T2 | 1.9861 (0.0982)* | 1.6918 (0.0845)* | 0.4658 (0.6882) | 1.5552 (0.0054)*** | 1.6460 (0.0024)*** | -0.1936 (0.7331) | -0.3877 (0.8084) |
| T3 | 1.5145 (0.2083) | 1.8169 (0.0623)* | 1.2601 (0.2776) | 1.9221 (0.0005)*** | 2.0033 (0.0002)*** | -0.5247 (0.3792) | -0.5414 (0.7363) |
| T4 | 0.9424 (0.475) | 1.8525 (0.0763)* | 1.1455 (0.3383) | 1.1600 (0.0559)* | 1.6787 (0.004)*** | 0.2740 (0.7165) | 0.3050 (0.8578) |
| T5 | 1.7633 (0.2427) | 3.7947 (0.0012)*** | 1.8047 (0.1784) | 1.8918 (0.0124)** | 3.2800 (0.0000)*** | 0.5244 (0.6286) | -0.2400 (0.9083) |
| T6 | 2.9748 (0.0195)** | 3.1274 (0.0022)*** | 1.8358 (0.123) | 1.7154 (0.0042)*** | 1.2937 (0.0254)** | -0.3390 (0.5962) | 1.2826 (0.4034) |
| T7 | 1.4916 (0.3621) | 2.1895 (0.0638)* | 1.6337 (0.2699) | 1.4177 (0.0976)* | -0.0387 (0.9621) | | 0.6742 (0.7554) |
| T8 | 3.8366 (0.0611)* | 3.8241 (0.0499)** | 2.2323 (0.1675) | 3.2409 (0.0018)*** | 3.8380 (0.0165)** | | |
| T9 | 2.0724 (0.1141) | 1.9413 (0.0701)* | 1.3544 (0.2724) | 1.2896 (0.0342)** | 1.5711 (0.0125)** | | 0.3199 (0.8345) |
| T10 | 1.9079 (0.1708) | 1.7725 (0.1072) | 0.9202 (0.4653) | 0.4959 (0.4618) | 0.2294 (0.7279) | | -0.8702 (0.6162) |

解釋變數

註：括弧內數據為估計係數之 P 值；*表示顯著水準為 10%，**表示顯著水準為 5%，***表示顯著水準為 1%。

