

# 台灣發展WiMAX之潛在健康風險與 風險治理探討

王瑞庚 周桂田\*

台灣2004年規劃以WiMAX為骨幹建設全國「寬頻無線網路」系統，其投資高達260億元。然而考察近年來一些國際上之射頻輻射健康影響研究，除了已知知識的部分提到：無法證明射頻輻射有健康危害，尚有一些研究具有知識上的不確定性以及隨之而來的科學解釋與價值判斷的爭議，因此也不能完全排除其潛在健康風險之可能。Stirling提出的知識不確定矩陣，區分出已知知識、知識不確定性以及模稜兩可的科學解釋與價值判斷，已知知識可以採用傳統的風險評估工具，但其他範疇則需要風險溝通等不同方法來進行管理。研究發現我國WiMAX計畫之決策和執行過程，缺乏公衛、醫學等多元專家參與決策或徵求健康評估相關計畫，未對其健康風險進行良好風險溝通並開放公民參與管道，政府委託研究無法影響既定之政策，政府也並未遵循研究建議，改善現有治理架構。本文建議WiMAX應參考加州與歐盟對行動通訊電磁波之風險治理實踐作法，進行擴大科學審查和公民參與等新興風險治理典範，以形塑優質的科技決策。(台灣衛誌 2012；31(5)：399-411)

關鍵詞：WiMAX、電磁場(波)、射頻輻射電磁場、電磁場(波)健康影響、風險治理

## WiMAX科技政策與風險治理

### 一、WiMAX科技發展政策回顧

我國為讓數位資訊通信各種軟硬體設施在台灣能夠全面的發展，遂於2001年開始E-Taiwan、2005年M-Taiwan(Mobile-Taiwan)到2008年U-Taiwan(Ubiquitous-Taiwan)之資通訊科技政策，其目標為將台灣建設成為隨時各處「通訊網絡無所不在的社會(ubiquitous-network society)」，而此目標必須透過建構全國的WLAN(寬頻無線通訊，Worldwide Interoperability for Microwave Ac-

cess，也就是民間所謂的3G、3.5G、4G的寬頻通訊)系統才能達成。總預算達370億元的M-Taiwan，其主要目標即是建構全國的WLAN系統，並採用WiMAX為核心技術。所謂的WiMAX是一種新的WLAN技術規格，政府藉由為期5年的電信國家型科技計畫第二期(2004-2008)來進行WiMAX相關技術研發，電信國家型科技計畫第二期的經費達133億元[1]；除此以外，相關研發與佈建WiMAX網絡的總投資金額則約為260億元[2,3]。

WiMAX這種新的技術規格緣起於2003年行政院與相關單位鑑於當時國際上WLAN技術尚未有統一規格，評估後認為發展一種新的WLAN技術規格，並佔有全球市場會為台灣帶來龐大經濟利益。時值國際晶片大廠Intel在尋找合作夥伴開發一種新的通信技術規格即WiMAX，政府便選擇與其合作研

國立台灣大學社會科學院國家發展研究所

\*通訊作者：周桂田

聯絡地址：台北市大安區羅斯福路四段1號

E-mail: ktchou@ntu.edu.tw

投稿日期：101年5月1日

接受日期：101年8月21日

發WiMAX作為台灣部建WLAN技術核心，欲將WiMAX相關技術產業推展到國際市場成為台灣的兆元產業[4]，然而在國際資通產業競合關係的複雜脈絡下，2011年左右世界各國的WLAN開始以LTE技術為主要骨幹[5,6]，WiMAX相關技術並未成為新的世界主流規格，使得WiMAX最終無法達到政府的兆元產業預期目標[7-9]。

## 二、新興科技風險治理

新興科技的發展雖然帶來人類巨大的便利與效率，但也經常伴隨著科技發展所衍生的知識不確定或未知，就像WiMAX雖然帶來新興科技產業的利益面向，卻由於WiMAX健康風險實存在許多複雜因素，例如：特定健康效應可能只會與某種特定頻率的電磁場(波)暴露有關的windows effect，目前很難將各種頻率進行充分研究，新興的WiMAX頻率以及非熱效應更是缺乏研究；此外，單以暴露評估方面而言，日常生活中距離遠近、使用時間、收訊狀況、屏蔽障礙等複雜變因，都可能增加風險評估的困難度與不確定性。

傳統風險管理僅考量風險評估，集中在科學證據之評估與判斷，例如健康風險評估就會進行危害辯識，劑量反應評估，暴露評估及風險推估[10]，然後依據上述風險評估結果、根據統計資料與數據來判斷風險的可能性與嚴重程度，由專家或決策者進行風險管理。然而如果風險評估具有一定程度的不確定性，就很難提供一個夠具說服力的安全標準，經常造成科學爭議，而隨之而來外溢於科學安全之外的社會倫理問題，更需要廣泛的社會風險評估與風險溝通才能處理[11,12]。

據此，國際上近年推展新興風險治理架構，其包括風險管理、風險評估與風險溝通。科技決策不僅端視傳統風險管理依科學風險評估為基礎，而是涵蓋從科學研究者到所有利益關係者(stakeholder)之社會規範、倫理、隱私、認同、族群等風險議題。風險治理須重視克責性(accountability)、管道性

(accessibility)、透明性、參與性，建立民主參與風險決策機制與實踐，並從過去單線式的傳播、教育宣導，轉換為重視民眾與政府互動溝通過程[13-15]。

早在WHO在2002年已經建議處理有關電磁場(波)健康風險議題應該進行風險溝通(risk communication)與對話[16]，國際風險治理協會(International Risk Governance Council, IRGC)也建議關於新興科技議題應進行風險治理(risk governance)[13]，因此本研究認為應該風險治理的角度來探討WiMAX政策才能深入其問題核心。

## WiMAX潛在健康風險之文獻回顧

### 一、射頻輻射對人類潛在健康風險

綜論非游離輻射健康風險，包括Wertheimer和Leeper、van Leeuwen等人、Hocking和Westerman、Ofstedal等人、Urban等人之研究以及國內吳霖堃、黃伯璋考察國內外許多研究後，認為目前沒有證據支持非游離輻射存在潛在健康風險[17-23]；然而有部分研究提出了相關潛在健康風險疑慮，這些研究很多是2007年以後的新興研究(例如非熱效應健康影響)，可能有觀察時間較短、樣本較少或者方法論質疑的研究，例如可能有回憶偏誤的研究。

非游離輻射健康研究中一些提到極低頻輻射(extra low-frequency, ELF, 屬於低頻輻射範圍)的潛在健康影響[24-26]，但與本文無關不進行討論。WiMAX使用頻率，是在射頻輻射(radiofrequency electromagnetic fields)的頻譜範圍內，射頻輻射涵蓋一般行動電話、基地台、WLAN的行動通訊技術的使用頻率。總體來說，射頻輻射造成的熱效應雖有健康影響，但已經有相對充分的研究來界定其風險，很多國家已經有標準的規範(主要參考International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP)，並且沒有科學證據顯示現行的標準不足以防範熱效應的健康風險，目前主要的爭議其實是非熱效應健康危害與潛在致癌的可能性。

關於射頻輻射潛在致癌風險，2011年射

頻輻射在WHO所依據的IARC(International Agency for Research on Cancer)的致癌物等級由原本的第3級-無法認為致癌物(not classifiable as to its carcinogenicity to humans), 提升到2B級[27-29]。但必須說明, IARC的研究認為, 經過嚴格的證據審查, 使用手機增加罹患膠質神經瘤和聽覺神經瘤風險的證據是有限的, 而在其它癌症的研究證據則是不足的, 但過去其中一篇研究顯示重度使用(超過10年每天使用30分鐘)行動電話的人, 會增加40%的風險罹患膠質神經瘤[16,17], 因此IARC研究小組決定將射頻輻射致癌風險列為2B級。Hardell等人從1999年開始的長期研究, 其研究作出長期長時間使用行動電話提高罹患腦瘤風險達到顯著差異[30], 但其方法論仍有爭議並且可能有回憶偏誤, 部分學者認為很難有風險評估之具體貢獻[31]。2011年Hardell等人研究行動電話使用是否提高罹患頭、頸部惡性黑色素瘤風險, 結果則未達顯著差異[32]。

另外, 2004-2008年包含丹麥、瑞典、挪威、瑞士四國的CEFALO跨國調查研究, 根據該計畫Aydin等人的研究報告指出[33], 7-19歲兒童青少年長期使用手機並未增加腦部腫瘤的風險, 但針對此研究Söderqvist等人認為上述結論也有可以討論之處[34], Söderqvist等人認為若是CEFALO採用Feychting的研究設計[35], 結果應會達到顯著差異。如何界定「經常使用」與「未經常使用」, 使用潛在年數分組等, 存在若干不夠周延、嚴謹的問題。Söderqvist等人認為癌症發生過程有許多階段和複雜機制, 現有樣本的推論是不足的, 實驗設計必須更加精確嚴謹, 雖然目前射頻輻射潛在致癌的機制仍然是有限、未知的, 但更多流行病學研究是必要的。

最近國際上關於非熱效應健康研究有不少進展[36], 像是Giuliani等人關於射頻輻射對氨基酸Zhadin effect的研究、Salford研究行動電話電磁波對Blood-brain barrier(腦血管障壁)以及Martin和Goodman研究電磁場對生物細胞生理影響、Phillips等人研究DNA複製過程的影響、Ruediger研究電磁場對基

因毒性與損害、Volkow等人研究醣類新陳代謝的影響[37-42]; 這些研究雖有成果, 但是否對健康有潛在影響仍未建立有系統的研究, 例如Volkow等人的NIDA(NIH)研究團隊2011年在JAMA發表一篇有關837.8 MHz行動電話天線靠近頭部時, 腦部醣類代謝增加了7%的反應的研究, 他們發現就算是微弱訊號, 腦部還是有反應, 有可能會影響健康[42], 但長期促進醣類代謝是否影響腦部神經傳導、神經反應等尚須進一步研究[43]。

## 二、缺乏WiMAX使用頻率之健康風險研究

前面文獻回顧中所包含的電磁場(波)潛在健康風險的研究並沒涵蓋我國WiMAX使用的2.5~2.69GHz頻率。事實上根據IC-NIRP於1998年報告中所規範之暴露建議值[44-46], 將2 GHz~300 GHz之頻率範圍內, 其功率密度暴露規範建議值則為50 (Wm<sup>-2</sup>), 其中並未細分, 代表此參考標準認為只要大於2 GHz以上頻率的射頻輻射其所產生之熱效應都是相同的, 但沒有充分科學證據支持2 GHz~300 GHz之頻率範圍內採取一樣的標準是否恰當。比較接近的研究是Keshvari等人2005年比較2.45GHz與1800MHz射頻輻射在兒童與成人的特定吸收率(specific absorption rate, SAR)差異(1800MHz是2G行動電話常用頻率, 2.45GHz則是3G以上和WLAN的常用頻率), 2006年在比較頭部電介質(dielectric)與SAR的關係[47,48], 但並非直接研究該頻率電磁場(波)之SAR與健康影響。其結論是對頭部組織的SAR而言, 2.45GHz與1800MHz的結果接近, 但他們認為生物體和非游離輻射的交互作用極為複雜, 熱效應的SAR測量而言, 受到生物組織特性、體積部位等有相當多參數需要考慮以及無法考慮, 需要進一步研究。

其他研究包括Bakker等人2010年的研究測量了10 MHz到5.6 GHz的SAR發現, 兒童暴露於日常2.5 GHz射頻輻射時, 其身上的SAR有時會高於SAR之暴露限制, 因此他建議ICNIRP的參考標準需要考慮進行微幅修訂, 然而, 該研究也認為SAR所反應的



能量並未能進一步與健康效應作連結[49]。另外Sambucci等人、Laudisi等人在2011年與2012年對於懷孕婦女暴露於2.45GHz (頻率接近WiMAX的Wi-Fi通訊)的研究發現，無證據支持對於胎兒發育與免疫系統會有影響[50,51]。

總體來說，WiMAX所使用的射頻輻射是缺乏健康研究的，就算關於射頻輻射的研究也有限，目前的研究都沒有辦法支持射頻輻射會對人體健康造成影響，但是存在一些經過學術社群檢驗的研究提出質疑，儘管一些新興研究(如非熱效應)其健康影響機制仍然未知、某些研究樣本數量或者研究方法解釋力有限，卻不應該忽視這些研究提出的潛在健康風險疑慮。

### 三、WiMAX的不確定性與模稜兩可性問題探討

#### (一) WiMAX潛在健康風險的不確定性與模稜兩可性

Renn從風險評估理論與方法的角度認為[11]，現代風險評估對象很多就經常有相當程度的複雜性(complexity)，而由於無法適當控制這些複雜性(complexity)就容易產生不確定性(uncertainty)。不確定性至少包括了(1)觀察對象具有不同的易受影響程度(vulnerability)，例如Sambucci等人、Laudisi等人的研究是以懷孕鼠為實驗對象[50,51]，且國際上的研究缺乏不同種族為樣本的比較研究；(2)模型的系統性或樣本的選擇，例如Keshvari認為腦部SAR模擬模型還存在許多複雜因素[47,48]，而Hardell等的研究樣本可能會有回憶偏誤的問題[30-32]，且其他採取類似研究方法的研究並未作出一樣結果[31]。又例如Söderqvist等人認為Aydin等人的CEFALO報告若採取Feychting的研究設計，應該會得到不同的結果[33-35]；(3)缺乏系統性科學知識，例如Bakker等人尚未能確認超過SAR標準的非長時間暴露對兒童健康是否有影響[49]，另外前述文獻中所提到包括Giuliani等人、Salford、Martin和Goodman、Phillips等人、Ruediger及Volkow等人這些非熱效應研究，雖證實各種非熱效

應存在，但尚未建立任何健康影響機制的系統性科學知識。

另外，Renn認為風險評估還面臨牽涉到科學解釋與價值判斷的模稜兩可性(ambiguity)的問題[11,12]，例如針對若WiMAX風險評估小組引用CEFALO研究，是該相信Aydin等人結論或是採納Söderqvist等人的建議？若評估小組一致相信了Hardell達顯著差異的研究[30]，但是否就達到必須修改現行射頻輻射管制標準？若共同引用Bakker的研究[49]，是否即刻採取預警原則措施對兒童標準修改或限制兒童使用？同樣研究的解釋不同，可能其背後的主觀價值信念是不同的，這就造成風險的容許標準(tolerance)與篩選(threshold)的不同，況且WiMAX使用的2.5~2.69GHz的頻率非常缺乏研究，是否能直接引用其他頻率的標準也有待商榷。

若按照ICNIRP的標準，是隱含著2GHz~300GHz應該有一樣的健康影響(所以有一樣的標準)，但其未知的狀態是否需要進一步研究？或是援引其他頻率的研究即可？若同意引用其他頻率研究為健康風險評估之基礎，雖有相當多研究認為無法證實射頻輻射會造成健康影響，仍有不少研究認為有潛在健康風險，這些因素使得WiMAX健康風險評估，具有相當程度的不確定性(uncertainty)與模稜兩可性(ambiguity)。

#### (二) 知識不確定矩陣中的不確定性與模稜兩可性

Stirling的知識不確定矩陣(uncertainty matrix of knowledge)(圖1)，探討了知識不確定性程度不同造成的風險知識特性和處理方式的不同，並具體推進到公共政策與風險決策面對各種問題[52,53]。

Stirling引用Renn的概念認為科學上的不確定性，可以區分出因研究對象的複雜性、非線性、開放系統造成的不確定性(uncertainty)以及科學解釋或者價值判斷和規範上的模稜兩可性(ambiguity)，進一步將風險知識區分為風險(risk)、不確定性(uncertainty)、科學解釋及社會價值模稜兩可性(ambiguity)、以及未知(ignorance)四個範疇(圖一)。另外分別以矩陣的縱軸—知識概率

	對研究結果的低疑問性 (unproblematic knowledge about outcomes)		對研究結果的高疑問性 (problematic knowledge about outcomes)
	風險(risk)		模稜兩可(ambiguity)
知識概率低疑問性 (unproblematic knowledge about probabilities)	知識類型	已知的知識 熟悉的系統 技術能控制的狀況 社會系統中長期運作	科學解釋上的模稜兩可： 研究假設、方法論、問題意識的歧異、專業與學科的歧見 價值上的模稜兩可： 行為、信任與服從的議題；利益、意義、語言；倫理與公平
	研究、決策、治理的工具	風險評估 建立理想模型，並予以控制 專家共識 成本效益分析 消除大眾疑慮	參與式民主 利益關係者溝通 採取各種不同的評量與評估工具進行決策，如：Q methodology, multicriteria mapping
知識概率高疑問性 (problematic knowledge about probabilities)	不確定性(uncertainty)		未知(ignorance)
	知識類型	研究對象的複雜性、非線性、開放系統、跨領域、跨界的特殊影響	非預期結果 非預期狀況 未知、無知、知識差距 新的元素、新的行動者 新的機制
	研究、決策、治理的工具	區間分析 (interval analysis) 敘事分析、情境分析法 (scenario method) 敏感性分析法 (sensitivity analysis method)、決策法則(decision rules)	持續關注、進行監控 避免不可挽回的後果 決策保持彈性、可回復性、社會調適性 保留多樣性的決策

參考Stirling[52,53]，作者綜整本文文獻回顧與新興風險治理理論述依Stirling概念重新修改製表。

圖一 知識不確定性矩陣(uncertainty matrix of knowledge)

的疑問性(problematic)以及橫軸－研究結果的疑問性來呈現，前者主要指是研究方法、設計和過程的範疇；後者則是科學解釋與應用範疇[11,12]。

在這個架構下，Stirling以矩陣區別已知知識、不確定性知識、模稜兩可知識與未知，並列舉一些應對這些知識不同可能的研究、決策、治理的工具。Stirling矩陣對風險治理主要的貢獻在於，矩陣能呈現一個知識分佈的圖象，讓決策者能分析對象的不同知識特性而運用不同方式來進行風險治理。以WiMAX為例，決策者可以引用已知知識：熟悉的、技術上能控制的熱效應健康影響，進行風險分析與管理，並實踐在管制標準初步制訂、監測與宣導；但亦需重視WiMAX涉及前面文獻回顧已經提到的，WiMAX潛

在健康風險的不確定性知識、模稜兩可知識與本身缺乏研究造成的未知(ignorance)。

舉例來說，像是Hardell的研究涉及不確定性樣本數較少或者回憶偏誤的問題，可能社會科學透過質化的敘事分析，對於樣本做深入人類學式、生活史的調查，可以在穩固的科學模型、機制尚未確立前，得到更多有利於決策者做出風險決策的研究。

另外，知識涉及的模稜兩可性，典型的例子就是會面臨預警原則實踐的討論；例如學術社群BioInitiative引用較多上述含有不確定性的研究，在2007年的報告中就已經呼籲採取預警原則來制訂新標準，建議的長期暴露值甚至是ICNIRP的1/100甚至是1/1000[54-56]，對於不確定性研究的重視採取積極的預警原則立場，就是一種科學解釋

與價值選擇模稜兩可，這部分需要透過風險溝通、利益關係者參與討論並開放公民參與管道，讓決策者可以充分處理模稜兩可的問題。

由此可見台灣WiMAX潛在健康風險必須用更多不同的研究、決策與治理的工具，才能妥善、有效的進行風險治理。過去研究發現，我國科技治理體制與模式的確存在某些結構性問題，即台灣確實有為求產業發展而遲滯與隱匿風險、傾向低估科學上仍屬於不確定的風險，將其視為可技術控制的風險之，造成風險資訊不夠透明並且單向的風險溝通的現象[57,58]，然而良好風險治理除了運用科學已知的知識之外，實應該更注重風險治理對象的不確定性知識與模稜兩可問題，來進行風險管理與決策。

#### 四、WiMAX潛在健康風險與風險治理問題探討

##### (一) 政策制訂與計畫徵求未充分考慮潛在健康風險

WiMAX技術發展之政策目標是：將台灣建設為「通訊網絡無所不在的社會(ubiquitous-network society)」，台灣從M-Taiwan到U-Taiwan這樣的無線寬頻網路政策，事前的政策評估與制訂並未引進公衛、醫學、社會領域專家參與[1,59-61]，並未針對WiMAX潛在健康風險進行研究，僅能根據已知知識判斷，將行動通訊電磁場(波)視為極低而可控制的風險，即著手執行各項重大電信政策；而後各期「電信國家型科技計畫」，其計畫徵求(call for proposal)亦未包含WiMAX相關的公衛、醫學、社會、法律研究(僅有專利研究，並未包含倫理隱私等法律議題)，來補足政策制訂時的不足，因此政府就可能無法妥善處理WiMAX潛在健康風險尚有知識不確定性和模稜兩可、甚至缺乏研究的未知知識狀態。

##### (二) 事後委託研究對既定WiMAX政策影響有限

環保署與國民健康局等單位開始從2004年至2010年陸續委託了學者或民間公司進行

研究，本土健康實證研究主要是委託李中一對兒童、學童的健康評估，他也在2004年到2006年進行了台灣兒童極低頻磁場暴露評估的國際合作研究[62-69]。其研究涵蓋極低頻與射頻輻射，檢測與評估標準是以電磁場(波)熱效應為基礎的健康影響評估，他認為並沒有證據顯示現有標準會危害兒童健康，但也不能完全排除有爭議的Hardell研究和非熱效應可能健康影響，台灣還是應該進行更多流行病學研究[70]。另外政府也委託鄭尊仁、林宜平等學者進行了國內外標準與風險感知、風險評估研究[45,46]，他們考察國內外研究與規範，進行國內風險感知調查後，認為非游離輻射健康風險需要更多本土健康實證研究、更多風險溝通措施等建議，然而政府在增加研究方面，並未參照上述意見以實際的WiMAX、M-Taiwan為焦點進行健康風險評估或擴大本土研究；在風險溝通方面，包括環保署、國民健康局、衛生署、NCC等網站與公告文獻，都強調已知知識的低風險性，沒有針對有疑慮的部分與民眾積極進行風險溝通。政府也委託民間公司考察各國電磁場(波)預警措施[71]，但我國到目前為止也未參照一些國家的預警措施，例如修訂兒童及孕婦的管制標準。

上述這些政府委託研究考察了大量射頻輻射的已知知識部分，得到未有研究證實有害的結論，但也提到了一些知識不確定性以及價值上模稜兩可(例如新興研究或預警原則措施)，然而政府若不在政策規劃初期就進行本土研究與風險評估，既定政策WiMAX、M-Taiwan投入數百億建設全島無線寬頻的大方向已定，「電信國家型科技計畫」亦不徵求健康風險評估研究，這些卓越的委託研究對於政府進行更好的風險治理的幫助就極為有限。

##### (三) 電磁場(波)健康相關爭議層出不窮

既然在政策制訂前期與過程中都缺乏健康研究、評估與公民參與，執行中政府雖然委託學者與民間進行研究，但卻沒有參照這些研究建議廣泛進行本土研究評估並且實施風險溝通與公民參與作為，這樣的政府決策與施政背景下，2007年3月WiMAX發



照前，民間團體致函陳情NCC，NCC僅以ICNIRP標準為安全回覆，未進行進一步評估、商議或辦理工聽會，6月立法院辦公聽會，會議結論建議暫緩發照，但NCC仍然於7月份逕行發照，導致民間團體採取了激烈的絕食與遊行抗爭行動[72,73]。

除了WiMAX以外，2005年以來民間對各種電磁場(波)健康的大小抗爭不斷(各地基地台單2005年1月至11月已經有22,000次抗爭，並且有400個遭拆除，損失達到37億元以上[74])。2007年WiMAX抗爭之後，2010年對教育部推動電子書包抗爭，2011年3月田尾反高壓電塔抗爭、5月12日立法院針對833mGH管制標準進行公聽會時，民間亦同時進行抗爭。

這些抗爭的原因和WiMAX如初一轍，環保署、國民健康局、衛生署、NCC一向只引用已知知識進行管制和教育宣導，固然從2008年到2011年NCC就舉辦了35場「環境電磁波面面觀」之類的教育宣導會，面對民間團體與民眾所重視的電磁場(波)不確定性與模稜兩可的知識問題，並沒有採用適當的研究、決策、治理工具來處理，造成政府只是在宣導已知知識，雖引用科學作為政策依據，無法解決民眾疑慮，進而引發民眾疑慮與抗爭。

##### 五、關於WiMAX潛在健康影響的風險治理倡議

從官方網站與文獻考察我國政府的電磁場(波)健康風險治理所引用的科學知識，是以WHO/ICNIRP作為主要決策與管理依據[75]，主要建立在過去電磁場(波)熱效應的已知知識，然而WiMAX潛在健康風險尚有其他知識不確定性、科學解釋與價值模稜兩可的問題待處理，所以不只是傳統的風險評估與管理，還需要不同的新興科技治理典範與方法才能有效的針對這樣的新興科技進行風險治理[57,76,77]。

在國際組織上，WHO在2002年已經建議處理有關電磁場健康風險議題應該進行風險溝通與對話[16]，此外IRGC也在2005年建

議，除了傳統科學的風險分析、政策的風險管理，應該包含風險溝通，成為風險治理的三個基礎[12,57]。

事實上，美國和歐盟對於電磁場(波)健康議題都採取了擴大科學審查社群、公民參與和強化風險溝通的風險治理來決定政策。早在1993年加州公共事業委員會就成立加州電磁場計畫，至2003年長達10年時間，評估並訂立適合加州的一套安全標準。從評估到訂定政策每一步驟利害關係人都有參與其中。計畫由加州民營電力公司共同出資，加州公共衛生部負責監督計畫的執行，由利益相關者請求衛生部以特定方式從事風險評估，邀集科學家組成科學諮詢小組。其核心成員是：小兒科醫學專家、美國工業衛生協會、加州教師與家長協會、加州公共事業安全與教育聯盟、關心電磁場議題的民眾、加州公共事業委員會納稅人律師(監督、維護加州納稅人權益的機構)、電力研究機構、環境健康聯盟、國際電力工人工會、民營公共事業、公營公共事業，然後包含由正式成員選出的擴大正式成員(ex-official members)，包含癌症學會、空氣污染監控委員會等25個政府與民間機構；計畫執行者必須對核心與擴大成員進行詳細報告，每次報告的完整記錄都必須建立資料庫保管並且公開。計畫必須對公眾經常辦理工作坊(workshop)、公共會議(public meetings)、公聽會(public hearing)，最後加州於舉行眾多討論公聽後，10年時間才於2003年訂出加州的電磁場(波)防護標準[78]。

另外，歐盟執委會管理電磁場健康風險的機關—歐盟健康與消費者保護部的公共衛生與風險評估署。該署從2005年開始每年都要和執行電磁場健康影響風險評估的科學委員會進行會議，並且，歐盟執委會賦予科學委員會卓越性、獨立性、透明性、信賴性，不受官方干涉、資訊公開透明，許多個別新興的研究都被列入評估；例如電磁場對阿茲海默症的影響、電磁場與腦血障蔽的影響、電磁場對基因複製的干擾這些新興、非主流尚未充分研究證實的領域，同樣被列入評估，並且任何一份報告、會議決議、民意調

查都可以在歐盟網站上輕易下載[79]。

同時，執委會要求公共衛生與風險評估署和新興健康風險科學委員會(Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, SCENIHR)充分與歐洲公民進行風險溝通；實踐方式例如2009年召開了「電磁場與健康：科學與政策的關注」會議，設計了利害關係人在會議中對話的論壇，論壇中官署盡力扮演「傾聽」的角色而未進行發表，交給代表工會的歐盟企業工會主任、歐洲產業聯盟研究院、代表民間的健康環境聯盟、英國電磁場信託會、代表業者的行動電話製造商論壇與GSM同業公會，邀請包含了醫學、流行病學、科技風險治理、生態環境永續發展、與風險管理政策領域的專家開放地來進行對話、溝通。

相對於台灣的WiMAX政策制訂與執行過程，美國和歐盟其專家多元性和民眾參與管道、治理工具的多樣性都值得台灣來學習。具體來說，當初在規劃M-Taiwan到U-Taiwan的電信發展政策時，不能只考慮已確知的健康風險知識；面對WiMAX潛在健康風險有關的知識不確定性或未知所引發科學解釋或社會價值的模稜兩可，可以採取加州與歐盟的方式，即在設計多元專家審查機制，同時在治理上啟動利害關係人參與決策，以開放、透明、積極商議的風險溝通進行討論並開放公民參與管道[12,57,76,77]，一方面降低科技所引發的社會爭議，另一方面促進社會學習面對新興科技風險的選擇與決策。

## 結 論

考察近年電磁場(波)健康影響研究發現，過去在IARC/WHO列在致癌等級3的射頻輻射在2011年被提升等級為2B，但其致癌證據相當有限並且僅限於膠質神經瘤和聽覺神經瘤。近年來一些研究指出射頻輻射可能致癌、DNA損害、新陳代謝影響等，但都具有知識不確定性與科學解釋和價值的模稜兩可。

從Stirling的知識不確定矩陣作為理念

架構來看，由於WiMAX潛在健康影響研究仍有知識的不確定性、模稜兩可以及未知的部分，我國WiMAX決策與管理不能僅侷限於處理已知知識以及已有系統性技術控制的健康風險，必須對WiMAX潛在健康影響涉及的知識的不確定性、模稜兩可以及未知的部分同樣進行研究、決策和治理；我國卻在WiMAX政策制訂初期與過程中並未引進公衛、醫學專家參與研究和決策，更遑論其衍生外溢於科學之外的社會、倫理問題。後續政府也並未慎重看待委託的研究的建議，擴大進行本土研究、評估或者風險溝通、公民參與，以致台灣民眾對於我國電磁場(波)抗爭不斷。

美國加州和歐盟電磁場(波)健康風險治理，都採取了重視風險溝通，並且擴大專家審查以及開放公民參與的實踐作法，實值得台灣借鏡。建議WiMAX這樣的新興科技，在政策前評估和制訂過程中，都必須設計一些制度來實行擴大科學審查社群、重視個案研究與推動多樣性的研究並且進行風險溝通，同時所有資訊必須具備充分管道性與透明性並且開放公民參與管道，這些理念必須進入NCC、衛生署、環保署相關機構，然後設計合適於台灣的執行具體方法以處理台灣面臨的各種新興科技風險問題，進行良好有效的風險治理。

## 參考文獻

1. 電信國家型科技計畫辦公室：電信科技與產業發展。台北：行政院電信國家行計畫辦公室，2005。  
National Science and Technology Program for Telecommunications. Telecom Technology and Industrial Development. Taipei: National Science and Technology Program for Telecommunications, 2005. [In Chinese]
2. 王憶紅：WiMAX與LTE。自由時報，2010/07/21。  
Wang YH. WiMAX and LTE. The Liberty Times July 21, 2010. [In Chinese]
3. 馬瑞璿：WiMAX早走 何時收穫？經濟日報，2010/04/17。  
Ma RX. WiMAX goes too fast, when can we harvest? Economic Daily News April 17, 2010. [In Chinese]



4. 經濟部工業局：2005年台灣數位內容產業白皮書。台北：經濟部工業局，2005。  
Industrial Development Bureau, Ministry of Economic Affairs, R.O.C. (Taiwan). Digital Content Industry in Taiwan, 2005. Taipei: Industrial Development Bureau, Ministry of Economic Affairs, R.O.C. (Taiwan), 2005. [In Chinese]
5. 王憶紅：我官商已投入260億。自由時報，2010/07/16。  
Wang YH. Government and business community have already invested 26 billions in WiMAX. The Liberty Times July 16, 2010. [In Chinese]
6. 蔡佳容、馬瑞璿、楊曉芳：業者：台灣拚WiMAX還是有機會。聯合晚報，2010/07/16。  
Tsai CJ, Ma RX, Yang XF. Industry: Taiwan still have chance to try hard on WiMAX. United Evening News July 16, 2010. [In Chinese]
7. 黃晶琳：英特爾傳淡出WiMAX 業界憂。經濟日報，2010/07/01。  
Huang JL. The industry is worrying about the rumor that Intel has quitted from WiMAX. Economic Daily News July 1, 2010. [In Chinese]
8. 黃晶琳、曾仁凱：英特爾打退堂鼓 WiMAX產業澆冷水。經濟日報，2010/07/16。  
Huang JL, Zeng RK. The quitting of Intel poured cold water on the WiMAX industry. Economic Daily News July 16, 2010. [In Chinese]
9. 楊曉芳：冷眼／請問馬總統，WiMax下一步？聯合晚報，2010/07/16。  
Yang XF. The cold eye album / Questioning President Ma: what is the next step of WiMAX? United Evening News July 16, 2010. [In Chinese]
10. 鄭尊仁、林宜平、雷佑蓁：奈米科技的健康風險管理。台灣衛誌 2006；25：169-76。  
Cheng TJ, Lin YP, Lei YC. Health risk management of nanotechnologies. Taiwan J Public Health 2006;25:169-76. [In Chinese: English abstract]
11. Renn O. The risk handling chain. In: Boudier F, Slavin D, Löfstedt RE eds. The Tolerability of Risk: A New Framework for Risk Management. London: Earthscan, 2007; 5-75.
12. Renn O. White paper on risk governance: toward an integrative framework. In: Renn O, Walker KD eds. Global Risk Governance Concept and Practice Using the IRGC Framework. Netherlands: Springer, 2005; 12-6.
13. International Risk Governance Council. Risk Governance: Toward an Integrative Approach. Geneva: International Risk Governance Council, 2007; 59-67.
14. Chou KT. Biomedtech Island Project and Risk Governance- paradigm conflicts within a hidden and delayed high-tech risk society. Soziale Welt 2007;58:123-44.
15. 周桂田：獨大的科學理性與隱沒(默)的社會理性之“對話”——在地公眾、科學專家與國家的風險文化探討。台灣社會研究 2004；(56)：1-63。  
Chou KT. "Dialogue" between monopolistic scientific rationality and tacit (submerged) social rationality: a discussion of risk culture between local public, scientists, and the state. Taiwan: A Radical Quarterly in Social Studies 2004;(56):1-63. [In Chinese: English abstract]
16. WHO. WHO handbook on "Establishing a Dialogue on Risks from Electromagnetic Fields", 2002. Available at: [http://www.who.int/peh-emf/publications/en/emf\\_final\\_300dpi\\_ALL.pdf](http://www.who.int/peh-emf/publications/en/emf_final_300dpi_ALL.pdf). Accessed April 28, 2012.
17. Wertheimer N, Leeper E. Electrical wiring configurations and childhood cancer. Am J Epidemiol 1979;109:273-84.
18. van Leeuwen GM, Lagendijk JJ, van Leersum BJ, Zwamborn AP, Hornsleth SN, Kotte AN. Calculation of change in brain temperatures due to exposure to a mobile phone. Phys Med Biol 1999;44:2367-79.
19. Hocking B, Westerman R. Neurological abnormalities associated with mobile phone use. Occup Med (Lond) 2000;50:366-8.
20. Oftedal G, Wilén J, Sandström M, Mild KH. Symptoms experienced in connection with mobile phone use. Occup Med (Lond) 2000;50:237-45.
21. Urban P, Lukas E, Roth Z. Does acute exposure to the electromagnetic field emitted by a mobile phone influence visual evoked potentials? A pilot study. Cent Eur J Public Health 1998;6:288-90.
22. 吳霖堃：電磁場、電磁場(波)是否有害人體健康。環境檢驗通訊雜誌 2001；(37)：5-19。  
Wu LK. Are electromagnetic fields (waves) a health hazard? Huan Jing Jian Yan Tong Xun Za Zhi 2001;(37):5-19. [In Chinese]
23. 黃佰璋：行動電話基地臺以及行動電話是否會對人體健康造成危害。環境檢驗通訊雜誌 2001；(37)：26-9。  
Huang PC. Are base stations and cell phones health hazards? Huan Jing Jian Yan Tong Xun Za Zhi 2001;(37):26-9. [In Chinese]
24. Juutilainen J, Matilainen P, Saarikoski S, Läärä E, Suonio S. Early pregnancy loss and exposure to 50-Hz magnetic fields. Bioelectromagnetics 1993;14:229-36.
25. Savitz DA, John EM, Kleckner RC. Magnetic field exposure from electric appliances and childhood cancer. Am J Epidemiol 1990;131:763-73.
26. Robert E. Birth defects and high voltage power lines: an exploratory study based on registry data. Reprod Toxicol 1993;7:283-7.

27. WHO. Press release N° 208 IARC clasifies radio-frequency electromagnetic fields as possibility carcinogenic to humans, 2011. Available at: <http://www.scribd.com/doc/56740123/IARC-classifies-radiofrequency-electromagnetic-fields-as-possibly-carcinogenic-to-humans>. Accessed April 1, 2012.
28. WHO. Electromagnetic fields and public health: mobile phones. Fact sheet N° 193, 2011. Available at: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/en/index.html>. Accessed April 1, 2012.
29. International Agency for Research on Cancer (IARC). IARC Classifies radiofrequency electromagnetic fields as possibly carcinogenic to humans. Available at: [http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2011/pdfs/pr208\\_E.pdf](http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2011/pdfs/pr208_E.pdf). Accessed April 28, 2012.
30. Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. Mobile phone use and the risk for malignant brain tumors: a case-control study on deceased cases and controls. *Neuroepidemiology* 2010;**35**:109-14.
31. Kundi M. Epidemiologic evidence for a relationship between NIR and cancer - a controversial issue. In: Proceedings of the International NIR and Health Workshop, May 18th and 19th, 2009. Brazil: Ministério Público do RS, 2009.
32. Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. Case-control study on the use of mobile and cordless phones and the risk for malignant melanoma in the head and neck region. *Pathophysiology* 2011;**18**:325-33.
33. Aydin D, Feychting M, Schuz J, et al. Mobile phone use and brain tumors in children and adolescents: a multicenter case-control study. *J Natl Cancer Inst* 2011;**103**:1264-76.
34. Söderqvist F, Carlberg M, Hansson Mild K, Hardell L. Childhood brain tumour risk and its association with wireless phones: a commentary. *Environ Health* 2011;**10**:106.
35. Feychting M. CEFALO-A case-control study of brain tumors in children and adolescents and mobile phone use. *Epidemiology* 2006;**17**:S74.
36. BioInitiative. Ten-year INTERPHONE cell phone study reports increased risk for brain cancer, 2010. Available at: [http://www.bioinitiative.org/freeaccess/press\\_release/docs/Interphone.pdf](http://www.bioinitiative.org/freeaccess/press_release/docs/Interphone.pdf). Accessed April 1, 2012.
37. Giuliani L, D'Emilia E, Grimaldi S, Lisi A, Bobkova N, Zhadin MN. Investigating the Icr effect in a Zhadin's cell. *Int J Biomed Sci* 2009;**5**:181-6.
38. Phillips JL, Singh NP, Lai H. Electromagnetic fields and DNA damage. *Pathophysiology* 2009;**16**:79-88.
39. Salford LG. Effects of mobile phone radiation upon the blood-brain barrier, neurons, gene expression and cognitive function of the mammalian brain. In: Proceedings of the International NIR and health Workshop, May 18th and 19th, 2009. Brazil: Ministério Público do RS, 2009.
40. Martin B, Goodman R. Electromagnetic fields stress living cells. *Pathophysiology* 2009;**16**:71-8.
41. Ruediger HW. Genotoxic effects of radiofrequency electromagnetic fields. *Pathophysiology* 2009;**16**:89-102.
42. Volkow ND, Tomasi D, Wang GJ, et al. Effects of cell phone radiofrequency signal exposure on brain glucose metabolism. *JAMA* 2011;**305**:808-13.
43. Lai H, Hardell L. Cell phone radiofrequency radiation exposure and brain glucose metabolism. *JAMA* 2011;**305**:828-9.
44. International Commission on Non-Ionizing Radiation. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300GHz). *Health Phys* 1998;**74**:494-522.
45. 林宜平、詹長權：非屬原子能遊離輻射對環境衝擊之研究。台北：行政院環境保護署，2007。  
Lin YP, Chan CC. The Impact of Electromagnetic Field (EMF) on the Environment Project. Taipei: Environmental Protection Administration, Executive Yuan, R.O.C. (Taiwan), 2007. [In Chinese: English abstract]
46. 鄭尊仁、林宜平、詹長權：非屬原子能遊離輻射對環境衝擊之研究計畫期末報告。台北：行政院環境保護署，2008。  
Cheng TJ, Lin YP, Chan CC. The Impact of Electromagnetic Field (EMF) on the Environment Project. Taipei: Environmental Protection Administration, Executive Yuan, R.O.C. (Taiwan), 2008. [In Chinese: English abstract]
47. Keshvari J, Lang S. Comparison of radio frequency energy absorption in ear and eye region of children and adults at 900, 1800 and 2450 MHz. *Phys Med Biol* 2005;**50**:4355-69.
48. Keshvari J, Keshvari R, Lang S. The effect of increase in dielectric values on specific absorption rate (SAR) in eye and head tissues following 900, 1800 and 2450 MHz radio frequency (RF) exposure. *Phys Med Biol* 2006;**51**:1463-77.
49. Bakker JF, Paulides MM, Christ A, Kuster N, van Rhooen GC. Assessment of induced SAR in children exposed to electromagnetic plane waves between 10 MHz and 5.6 GHz. *Phys Med Biol* 2010;**55**:3115-30.
50. Sambucci M, Laudisi F, Nasta F, et al. Early life exposure to 2.45 GHz Wi-Fi-like signals: effects on devel-

- opment and maturation of the immune system. *Prog Biophys Mol Biol* 2011;**107**:393-8.
51. Laudisi F, Sambucci M, Nasta F, et al. Prenatal exposure to radiofrequencies: effects of WiFi signals on thymocyte development and peripheral T cell compartment in an animal model. *Bioelectromagnetics* 2012; doi: 10.1002/bem.21733. [Epub ahead of print]
  52. Stirling A. Risk, precaution and science: towards a more constructive policy debate. Talking point on the precautionary principle. *EMBO Rep* 2007;**8**:309-15.
  53. Stirling A. Keep it complex. *Nature* 2010;**468**:1029-31.
  54. BioInitiative. International Scientists Find Harmful Effects from Wireless Technologies and Urge New Safety Rules for Cell Phones. California: BioInitiative Group, 2009.
  55. BioInitiative. BioInitiative Report: A Rationale for a Biologically-based Public Exposure Standard for Electromagnetic Fields (ELF and RF). California: BioInitiative Group, 2007.
  56. International Commission for Electromagnetic Safety (ICEMS). Benevento resolution. The precautionary EMF approach: rationale, legislation and implementation. Available at: [http://www.icems.eu/benevento\\_resolution.htm](http://www.icems.eu/benevento_resolution.htm). Accessed April 28, 2012.
  57. 周桂田：新興風險治理典範之謠議。政治與社會哲學評論 2007；(22)：179-233。  
Chou KT. Reflexive discussion on new risk governance paradigm. *J Phil Stud Publ Aff* 2007;(22):179-233. [In Chinese: English abstract]
  58. 范玫芳：科學不確定性、預警原則與民主審議：以基因改造作物與食品爭議為例。2008年台灣社會學會年會。台北：中央研究院，2008。  
Fan MF. Uncertainty in science, precautionary principles, and deliberative democracy: using genetically modified crops and food related controversies as examples. In: *Proceedings of the 2008 Annual Conference of Taiwanese Sociological Association*. Taipei: Academia Sinica, 2008. [In Chinese]
  59. 王瑞庚：台灣WiMAX技術發展政策之科技治理研究－漠視科學爭議與風險治理的科技決策模式。台北：國立台灣大學國家發展研究所碩士論文，2011。  
Walther RKD. Investigation on the technology governance of WiMAX technology developing policy in Taiwan – the technology policy-making model of scientific debate and risk governance disregarded [Dissertation]. Taipei: Graduate Institute of National Development, National Taiwan University, 2011. [In Chinese: English abstract]
  60. 蔡志宏：我國電信產業之前瞻與發展。2008無線網路科技之健康、法律與社會議題工作坊。台北：國立台灣大學生醫科技法律與社會研究中心，2008。  
Tsai CH. The development of the telecommunications industry in Taiwan. In: *Proceedings of the Workshop on 2008 International Conference on Health, Law and Society Issues in Wireless Communication Technology*. Taipei: NTU Center for Ethics, Law, and Society in Biomedicine and Technology, 2008. [In Chinese]
  61. 網路通訊國家型科技計畫辦公室：網路通訊國家型計畫規劃重點及執行簡要。台北：行政院國家科學委員會，2009。  
Networked Communications Program Office. Planning Focus and Executive Summary of Networked Communications Program. Taipei: National Science Council, Executive Yuan, R.O.C. (Taiwan) 2009. [In Chinese]
  62. 李中一、陳富莉：執行非屬原子能遊離輻射－高壓輸電線、變電所或行動電話基地台鄰近學校產生電磁場之量測及其對學童健康評估。行政院環保署科技計畫，計畫編號EPA-93-F105-02-106。台北：行政院環境保護署，2004。  
Li CY, Chen FL. Non-Ionizing Radiation-Measurements of Campus Electromagnetic Fields Emitter from nearby Transmission Lines, Substations, or Base Stations as well as Assessment of their Potential Health Effects on School Students. *Environmental Protection Administration, Executive Yuan, R.O.C. (Taiwan): Science and Technology Project*. Project Number EPA-93-F105-02-106. Taipei: Environmental Protection Administration, Executive Yuan, R.O.C.(Taiwan), 2004. [In Chinese: English abstract]
  63. 李中一：兒童住家內部之極低頻磁場與接點承受電壓。國科會專題研究計畫，計畫編號NSC-93-2320-B030-006。台北：行政院國家科學委員會，2004。  
Li CY. Low Frequency Magnetic Fields and electric Switch Voltage in Children's Homes. *National Science Council Research Report*. Project Number NSC-93-2320-B030-006. Taipei: National Science Council, Executive Yuan, R.O.C. (Taiwan), 2004. [In Chinese]
  64. 李中一：極低頻與射頻輻射電磁場暴露相關之健康風險國內外研究文獻探討計畫。台北市政府衛生局委託研究計畫，計畫編號E980224。台北：台北市政府衛生局，2009。  
Li CY. Literature Review on Health Effects from Exposure to Extremely-Low-Frequency and Radio-Frequency Electromagnetic Fields. *The Commission Research Plan from Department of Health, Taipei*



- City Government. Project Number E980224. Taipei: Department of Health, Taipei City Government, 2009. [In Chinese]
65. 李中一：電磁場(波)暴露與兒童疾病之流行病學研究。行政院衛生署國民健康局委託研究計畫，計畫編號DOH98-HP-1408。台北：行政院衛生署國民健康局，2009。  
Li CY. An Epidemiological Study on Exposure to Electromagnetic Waves and Childhood Disease. The Commission Research Plan from Bureau Health Promotion, Department of Health, Executive Yuan, R.O.C. (Taiwan). Project Number DOH98-HP-1408. Taipei: Bureau Health Promotion, Department of Health, Executive Yuan, R.O.C. (Taiwan), 2009. [In Chinese]
66. 李中一：射頻電磁場(波)對兒童健康影響研究。行政院衛生署國民健康局委託研究計畫，計畫編號DOH99-HP-1407。台北：行政院衛生署國民健康局，2010。  
Li CY. Radiofrequency Electromagnetic Waves and Childhood Health. The Commission Research Plan from Bureau Health Promotion, Department of Health, Executive Yuan, R.O.C. (Taiwan). Project Number DOH99-HP-1407. Taipei: Bureau Health Promotion, Department of Health, Executive Yuan, 2010. [In Chinese]
67. Li CY, Mezei G, Sung FC, et al. Survey of residential extremely-low-frequency magnetic field exposure among children in Taiwan. *Environ Int* 2007;**33**:233-8.
68. Li CY, Mezei G, Sung FC, et al. Assessment of non-response bias in a survey of residential magnetic field exposure in Taiwan. *Bioelectromagnetics* 2007;**28**:340-8.
69. Li CY, Sung FC, Chen FL, Lee PC, Silva M, Mezei G. Extremely-low-frequency magnetic field exposure of children at schools near high voltage transmission lines. *Sci Total Environ* 2007;**376**:151-9.
70. 李中一：無線網路應用之健康議題。2008無線網路科技之健康、法律與社會議題工作坊。台北：台灣大學生醫科技法律與社會研究中心，2008。  
Li CY. Health issues of wireless networking applications. In: Proceedings of the Workshop on 2008 International Conference on Health, Law and Society Issues in Wireless Communication Technology. Taipei: NTU Center for Ethics, Law, and Society in Biomedicine and Technology, 2008. [In Chinese]
71. 蕭振龍、薛文崇：電磁場(波)預警措施之研究計畫。行政院環保署科技計畫，計畫編號EPA-99-U1F1-02-105。台北：行政院環境保護署，2010。  
Xiao ZL, Xue WC. The Study of Precautionary Measures for Environmental Electromagnetic Wave. Environmental Protection Administration: Science and Technology Project. Project Number EPA-99-U1F1-02-105. Taipei: Environmental Protection Administration, Executive Yuan, R.O.C. (Taiwan), 2010. [In Chinese: English abstract]
72. 林怡君：電磁波疑慮 環團反對WiMAX發照。中央社，2007/07/17。  
Lin YJ. Environmental group against WiMAX licensing due to concerns about electromagnetic fields. Central News Agency July 17, 2007. [In Chinese]
73. 吳玲瑜：WiMAX電磁波安全未確認，田秋堇(Tien Chiu-Chin)籲暫緩發照。台灣時報，2007/07/18。  
Wu LY. Tien Chiu-Chin urges license suspension until concerns about the safety of WiMAX electromagnetic waves are resolved. Taiwan Times July 18, 2007. [In Chinese]
74. 劉莉秋：WiMAX基地台有容身之處嗎？[http://www.ttida.org.tw/forum\\_detail.php?b\\_id=39](http://www.ttida.org.tw/forum_detail.php?b_id=39)。引自2012/04/28。  
Liu LQ. Are there suitable locations for WiMAX base stations? Available at: [http://www.ttida.org.tw/forum\\_detail.php?b\\_id=39](http://www.ttida.org.tw/forum_detail.php?b_id=39). Accessed April 28, 2012. [In Chinese]
75. 簡慧貞：我國環境中非遊離輻射管理現況與措施。環保署定期調查報告。台北：行政院環境保護署，2007。  
Chien HJ. The Management of Non-ionizing Radiation in Taiwan: A Report by the Environmental Protection Agency. Taipei: Environmental Protection Administration, Executive Yuan, R.O.C. (Taiwan), 2007. [In Chinese]
76. Ravetz J. The post-normal sciences of precaution. *Water Sci Technol* 2005;**52**:11-7.
77. Funtowicz SO, Ravetz JR. Three types of risk assessment and the emergence of post-normal science. In: Krimsky S, Golding D eds. *Social Theory of Risk*. Westport, CT: Praeger, 1992; 251-74.
78. California EMF Program. Policy options in the face of possible risk from power frequency electronic and magnetic fields (EMF), 2002. Available at: <http://www.ehib.org/emf/RiskEvaluation/PolicyOptionsF.pdf>. Accessed April 28, 2012.
79. European Commission. Report of the workshop on EMF and Health: Science and Policy to address public concerns, 2009. Available at: [http://ec.europa.eu/health/risk\\_assessment/events/ev\\_20090211\\_en.htm](http://ec.europa.eu/health/risk_assessment/events/ev_20090211_en.htm). Accessed April 1, 2012.

## Potential health risks and risk management issues as a result of introducing WiMAX technology in Taiwan

DAVID WALTHER, KUEI-TIEN CHOU\*

WiMAX is a brand new mobile communication technology whose impact on health and the environment has never been fully researched and evaluated by Taiwanese academia or regulatory departments such as the Environmental Protection Administration (EPA). This article introduces WiMAX technology, reviews the international scientific literature, investigates the potential health risks of WiMAX, considers risk management in Taiwan, and applies the concept of Uncertain Matrix of Knowledge. We found that the government used insufficient scientific evidence prior to drawing up and implementing WiMAX policy. The principles of deliberative and participatory democracy in Taiwan were eroded and ignored. By introducing the concept of the Uncertain Matrix of Knowledge and the methodology of the California EMF Program and SCENIHR, we addressed the problems of risk management and WiMAX policy making in Taiwan and also gave suggestions such as extended peer communities, technological democracy and risk communication. (*Taiwan J Public Health*. 2012;**31**(5):399-411)

**Key Words:** *WiMAX, magnetic wave, radiofrequency electromagnetic fields, magnetic wave health impact, risk governance*

---

Graduate Institute of National Development, College of Social Science, National Taiwan University, No. 1, Sec. 4, Roosevelt Rd., Daan Dist., Taipei, Taiwan, R.O.C.

\* Correspondence author. E-mail: ktchou@ntu.edu.tw

Received: May 1, 2012 Accepted: Aug 21, 2012