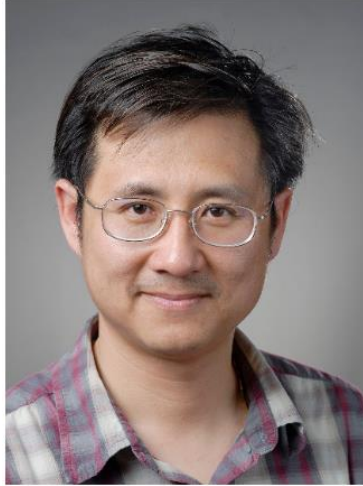


美国威斯康辛大学麦迪逊分校土木与环境工程系

吴俊贤教授



联系方式: chinwu@engr.wisc.edu

课题组网页介绍:

<http://homepages.cae.wisc.edu/~chinwu/homepage.html>

学历: 台湾大学农业工程系学士；台湾大学农业工程研究所硕士；美国麻省理工学院土木与环境工程系博士

研究兴趣:

- (1) 海气交换与表面波浪力学；
- (2) 海岸演变过程与永续发展；
- (3) 环境流体力学与物理海洋学；
- (4) 湖泊与湿地修复；
- (5) 环境监测与摄影测量；
- (6) 毒性水环境沉积物危害评估与修复

近五年代表性学术论文:

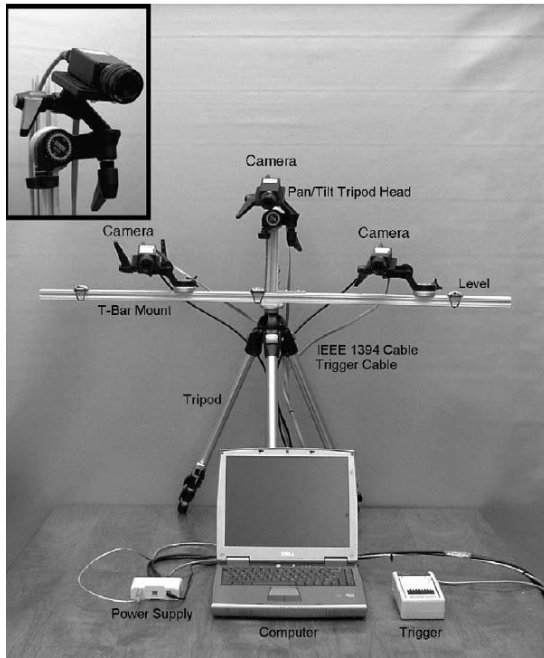
1. Bechle, A.J., Wu, C.H., David A.R. Kristovich, D.A., Anderson, E.J., Schwab, D.J., Rabinovich, A.B., 2016. Meteotsunamis in the Laurentian Great Lakes, Scientific Reports, 6, 37832, doi:10.1038/srep37832.
2. Linares, A., Bechle, A.J., and Wu, C.H., 2016, Characterization and Assessment of the meteotsunami hazard in northern Lake Michigan, Journal of Geophysical Research-Oceans, DOI: 10.1002/2016JC011979, 121(9), 7141–7158.
3. Magee, M. and Wu, C.H., 2016, Long-term trends and variability of ice cover in three morphometrically different lakes in response to climate change, Hydrological Processes, doi/10.1002/hyp.10996/full.
4. Kimura, N., Wu, C.H., Hoopes, J.A., and Tai, A. 2016, Diurnal thermal dynamic processes in a small and shallow lake under non-uniform wind and weak stratification, Journal of Hydraulic Engineering-ASCE, 142(11), 04016047, 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001190.
5. Magee, M. Wu, C.H., Robertson, D.M., Lathrop, R.C., and Hamilton, D.P., 2016. Trends and abrupt changes in 104-years of ice cover and water temperature in a dimictic lake in response to air temperature, wind speed, and water clarity drivers, Hydrology and Earth System Sciences, DOI:10.5194, 20(5), 1681-1702.
6. Reimer J.R. and Wu, C.H., 2016. Development and application of a Nowcast and Forecast system tool for planning and managing a river chain of lakes, Water Resources Management, 30(4), 1375-1393.
7. Bechle, A.J., Kristovich, D.A, and Wu, C.H., 2015. Meteotsunami Occurrences and Causes in Lake Michigan, Journal of Geophysical Research-Oceans, 120,8422–8438.
8. Anderson, E.J., Bechle, A.J., Wu, C.H., Schwab, D.J., Mann, G. and Lombardy, K. 2015. Reconstruction of a meteotsunami in Lake Erie on May 27, 2012: Role of atmospheric conditions on hydrodynamic response in enclosed basins, Journal of Geophysical Research-Oceans,120, 8020–8038.
9. Anderson, J.D., Wu, C.H., and Schwab, D.J., 2015. Wave climatology in the Apostle Islands, Lake Superior, Journal of Geophysical Research-Oceans, 120(7), 4869-4890.

10. Lin, Y.T. and Wu, C.H., 2015. Effects of a sharp change of emergent vegetation distributions on thermally driven flow over a slope. *Environmental Fluid Mechanics*, 15(4), 771-791.
11. Bechle, A.J. and Wu, C.H., 2014. The Lake Michigan meteotsunamis of 1954 Revisited. *Natural Hazards*, 74(1), 155-177.
12. Campbell, A.J., Bechle, A.J., Wu, C.H., 2014. Observations of surface waves interacting with ice using stereo imaging, *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 119(6), 3266-3284. - Editors' Highlights
13. Bechle, A.J. and Wu, C.H., 2014. An entropy-based velocity method for estuarine discharge measurement, *Water Resources Research*, 50(7), 6106-6128.
14. Lin, Y.T. and Wu, C.H., 2014. A field study of nearshore environmental changes in response to newly-built coastal structures in Lake Michigan, *J. of Great Lakes Research*, 40, 102-114.
15. Lin, Y.T. and Wu, C.H., 2013. Response of bottom sediment stability after carp removal in a small lake, *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, 49 (03), 157-168.
16. Bechle, A.J., Wu, C.H., Liu, W.C., and Kimura, N., 2012. Development and Application of an Automated River-Estuary Discharge Imaging System, *J. of Hydraulic Engineering-ASCE*, 138(4), 327-339.
17. Read, J.S., Hamilton, D.P., Desai, A.R., Rose, K.C., MacIntyre, S., Lenters, J.D., Smyth, R.L., Hanson, P.C., Cole, J.J., Staehr, P.A., Rusak, J.A., Pierson, D.C., Brookes, J.D., Laas, A., Wu, C.H. 2012. Lake-size dependency of wind shear and convection as controls on gas exchange, *Geophysical Research Letters*, 39, L0940, doi:10.1029/2012GL051886.

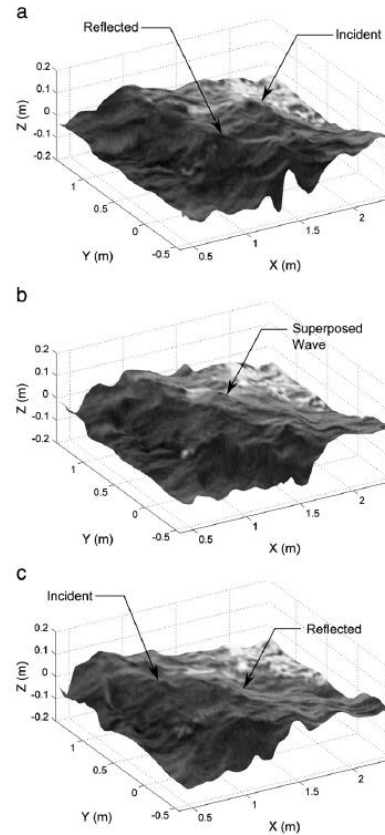
研究成果:

吴俊贤教授目前在美国威斯康辛大学麦迪逊分校任教，主持环境流体力学及海岸永续发展实验室，近几年来所著重的研究方向，包括：

(1) 发展摄影量测系统，量测近岸波浪的演变及感潮河口的流场特性：为了监测表面波的动力过程，发展一套非接触式的三目立体摄影量测系统 (ATSIS, Automated Trinocular Stereo Imaging System, 见图一) 监测三维波浪特性 (包括波高、周期等)，进而估算波谱的能量分布。这套系统利用三台数码相机 (Digital camera) 结合，一般而言理论上两台相机就可以捕捉表面波的特性，但是三维波浪的时空变化复杂，利用三台相机的好处是可以有效解决表面波镜面反射的问题，减低误判波浪特性的机率。此外，这套系统可以于室内校正完毕，不用在水表面设定任何控制点 (control point)。藉由这套系统，可以量测三维表面波的特性，也可以分析波浪与结构物间行进波与反射波的关系。近期吴俊贤教授团队又利用此套系统量测波浪与水面浮冰之间的相互作用关系，并分析不同类型浮冰对波浪特性的影响。吴俊贤教授自 2005 年开始发展立体摄影量测系统，相关研究成果已发表于国际知名期刊，包括《Ocean Engineering》、《Coastal Engineering》及《Journal of Geophysical Research-Ocean》等。



(a) ATSYS 系统装置图



(b) 分析入射波及从结构物反射的波

图 1 ATSYS 系统及分析结果

利用影像分析方法，吴俊贤教授团队也建立一套可估计感潮河口流量的系统（AREDIS, automated river-estuary discharge imaging system, 见图一）。这套系统利用两台数码相机拍摄感潮河段表面（一台获得近场影像，另一台获得远场影像），应用大尺度粒子图像测速（LSPIV, Large scale particle image velocimetry）的原理，利用水流经过桥墩产生的尾流，做为水流示踪物，认为示踪物的运动状态即代表被测水面二维流场中局部流体的运动状态。假设表面流速及平均流速的关系为一定值及河道断面已知下，则可用以推估断面流量。为了解决在夜间无法量测表面流速的限制，吴俊贤教授团队在河道中

设置发亮的浮标，藉以推估表面流速及流量。然而在感潮河川（estuary），基于混掺理论的”对数分布公式”未能充分反应感潮河段的流速分布，因此吴俊贤教授引入 1988 年美国邱照淋教授的应用最大熵原理（Principle of Maximum Entropy, POME）-将流速及垂直座标考虑为随机变量，导出了流速沿断面的分布规律。利用此原理，可导出表面流速与平均流速的关系，提高流量推估的准确性（见图 3），并可考虑对于表面风场所造成的影响。这些最新成果已发表于国际知名期刊，包括《Water Resources Research》及《Journal of Hydraulic Engineering-ASCE》等。

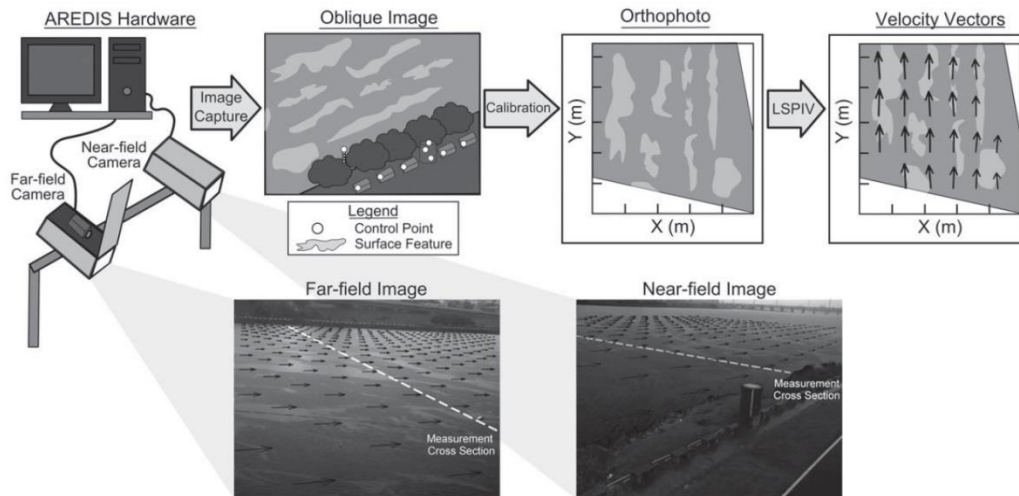
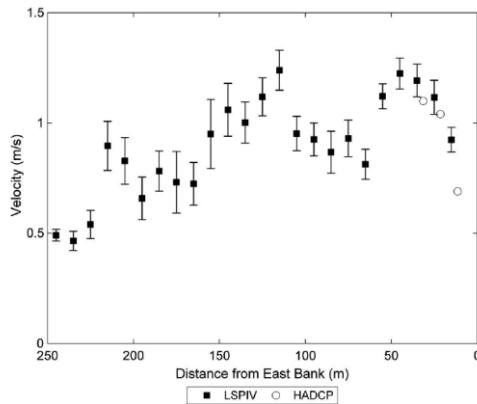
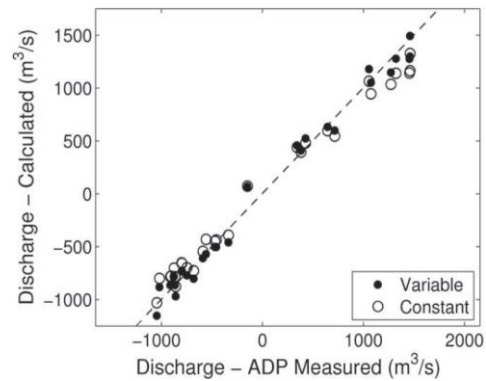


图 2 AREDIS 分析表面流速流程图



(a) AREDIS 与水平声学多普勒
海流剖面仪 (HADCP) 流量比较



(b) 应用最大熵原理比较图
(其中白点表示表面流速与平均
流速关系为定值, 黑点表示应用
最大熵原理方法下的结果)

图 3 AREDIS 结果与实测结果比较图

(2) 发展非静压数值模式, 了解表面波的运动过程:

第二个研究重点在于如何发展有效率而且正确数值模式以模拟表面波从离岸到近岸的动力过程。吴俊贤教授于 2003 年开始发展非静压模式 (non-hydrostatic model) 求解表面波的运动过程, 前人的研究在垂直方向上多假设静压 (hydrostatic pressure) 分布, 以求解 Navier-Stokes 方程, 但是当垂直方向速度不是很小时, 如果用静压假设所得出的结果还是不尽如人意。吴俊贤教授所开发的非静压模式, 在垂直方向分割成 2 至 5 层, 可有效率而且正确地模拟波浪在近岸区域的变化, 包括波浪的浅水作用 (shoaling)、频散 (dispersion)、反射 (reflection) 及折射 (refraction) 等。图 4 为经过一个逐渐变浅地形的算例。这部份的成果已发表在数篇国际知名的期刊, 包括《International Journal For Numerical Methods in Fluids》、《Journal of Engineering Mechanics-ASCE》、《Ocean Engineering》、

《Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering》及《Coastal Engineering》等，总引用次数超过一百五十次。

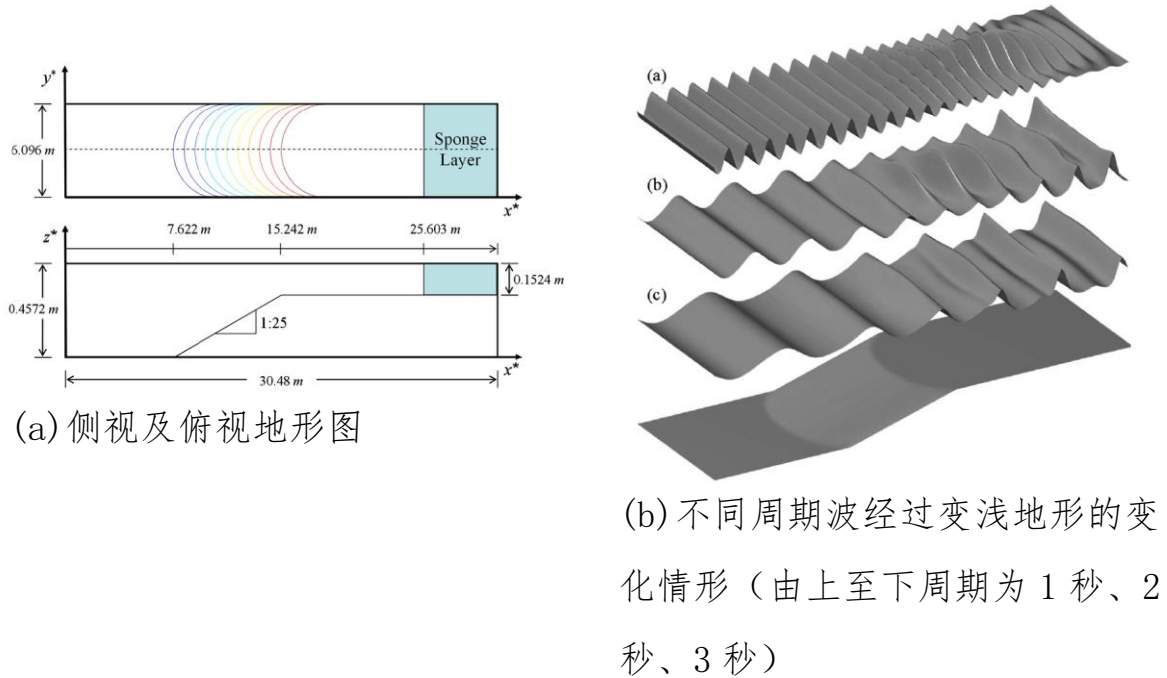


图 4 不同周期波浪通过一逐渐变浅地形下的变化情形

吴俊贤教授团队另一个方向是在畸形波 (freak wave) 的生成机制研究。畸形波的波高超乎寻常地大，而且出现很突然，几乎无规律可言。畸形波就是一种灾害波浪存在形式，具有强非线性和严重破坏性，畸形波的形成机制目前尚无系统的科学解释，近年来其出现频次呈现迅速增加态势，对海岸和海洋工程结构具有巨大的潜在危害。资料显示畸形波的发生海域覆盖了所有大洋，它不仅在开阔的深水海域肆虐，在近岸的浅水海域也同样经常发。吴俊贤教授团队过去曾利用实验室实验，研究顺向及逆向流动对于畸形波的影响（见图 5），结果显示逆向强劲的流程可显著地影响畸形波的运动及动力机制。研究结果发表于国际知名的期刊，包括《Physics of fluids》、《Journal of

Geophysical Research-Ocean》及《Ocean Engineering》等。

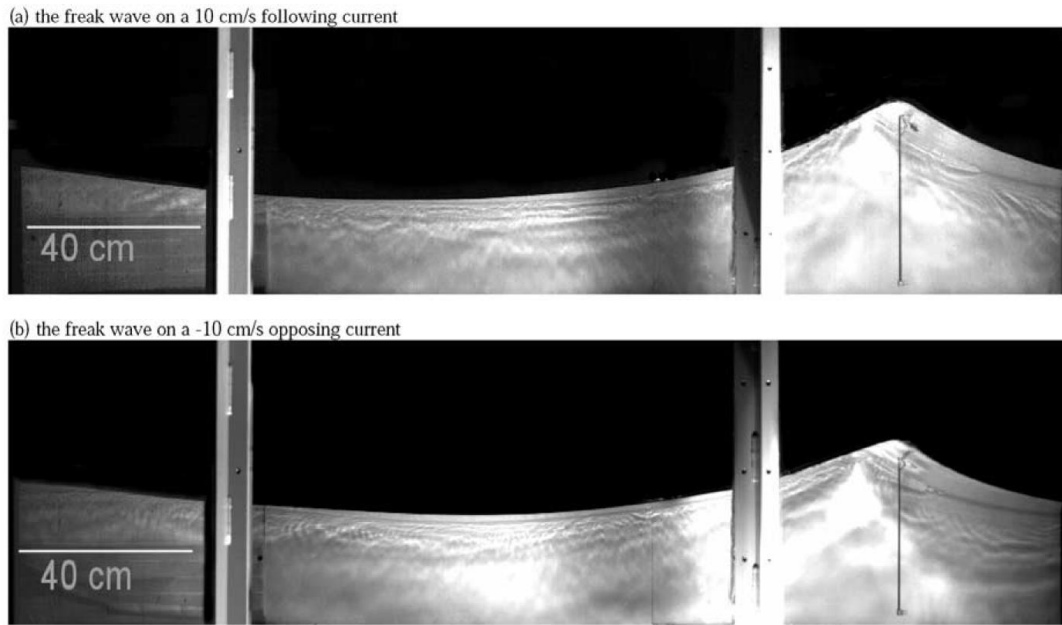


图 5 不同潮流方向对畸形波的影响：(a) 顺向 10 厘米/秒潮流；(b) 逆向 10 厘米/秒潮流

目前吴俊贤教授团队所要发展的方向是研究深海中波浪相互之间影响机理，希望未来能藉由数值模拟及现场观测的方式对畸形波 (freak wave) 的生成机制有进一步的了解，从而减轻畸形波对海岸和海洋工程结构具有巨大的潜在危害。

另一个研究方向在于考虑 Meteotsunamis 所带来的灾害，Meteotsunamis 是因为大气压力变化（通常是因为暴风雨通过）所引起类似海啸的巨浪。密西根湖曾于 1954 年发生 Meteotsunamis 袭击芝加哥，水淹至陆地上约 50 米处。由于密西根湖的地形容易造成波浪共振 (resonance) 现象，以及密西根湖常有暴风雨快速移动通过，因此密西根湖成为一个研究 Meteotsunamis 的热点。目前吴俊贤教授正跟五大湖环境研究实验室合作 (Great Lakes Environmental Research

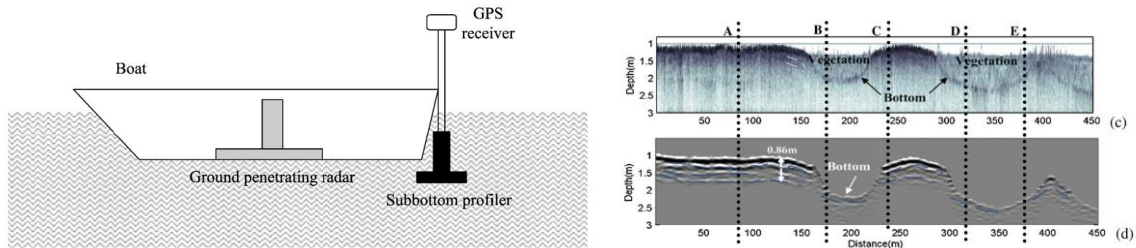
Laboratory), 希望能建立一套早期的预警系统, 及减轻其对环境的冲击。

(3) 海岸环境的永续发展 (sustainability):

海岸带环境变化与人类活动息息相关, 海岸环境的永续发展涉及到对于近岸物理现象的了解及人类行为对于近岸的影响。在五大湖沿岸海岸线随著经济的发展, 许多沿岸的住宅及休闲设施出现, 但其中许多住宅建筑建在高耸的悬崖上, 随著时间的累积, 悬崖的逐渐侵蚀及退缩, 会影响临湖住户房屋及居民生命财产安全。悬崖的逐渐侵蚀及退缩牵涉到地表上 (subaerial) 及水里 (subaqueous) 的过程: 地表上的过程包括悬崖坡度的变化、悬崖表面的风化及悬崖趾部的侵蚀等; 水里的过程包括波浪对悬崖的冲击、近岸泥沙的运动及近岸地形的下切 (downcutting)。吴俊贤教授的研究利用现场观测的方式, 分析上述短期及长期因素的影响, 建立相关影响因子。对于短期的悬崖退缩, 主要考虑湖位变化、波高、波浪爬高、海面倾斜、海滩的宽度等, 考虑上述不同影响因子, 建立累积波浪冲击高度因子 (Cumulative Wave Impact Height Index), 可用以评估短期不同海岸线的悬崖退缩速率。这部份的研究成果已发表于国际知名研究五大湖的期刊《Journal of Great Lakes Research》两篇。

对于长期的悬崖退缩, 以五大湖区海岸悬崖的组成多为超固结冰碛物 (over-consolidated glacial tills), 前人的理论指出长期的悬崖退缩速率和近岸底床的下切有关, 由于近岸环境中细沙颗粒常覆盖于超固结冰碛物上, 必须建立一套能快速而且正确量测细沙厚度的量测系统。吴俊贤教授与土木系另一位 Dante Fratta 教授研发结合声波与电磁波的地球物理探测方法, 利用声波及电磁波对于底床泥沙颗

粒的不同反应，可是用于不同泥沙颗粒下的底床环境（图 6）。此外，这套系统也可监测鲤鱼（carp）对于湖中底床泥沙搅动的影响。吴俊贤教授团队以美国威斯康辛州的一个小湖（Lake Wingra）做实验，该湖因为鲤鱼入侵，而使湖中悬浮物质浓度升高及水生植被减少。该州有关单位利用冬天时，移出 50%的鲤鱼，而后本团队观察湖底底床结构的差异，最后得出鲤鱼的存在的确可始底床泥沙松软，增加泥沙颗粒再悬浮（resuspension）的可能性，而污染湖中水质、减少植被生长。这部份的研究成果已发表 SCI 期刊《Journal of Applied Geophysics》、《Near Surface Geophysics》及《International Journal of Limnology》。



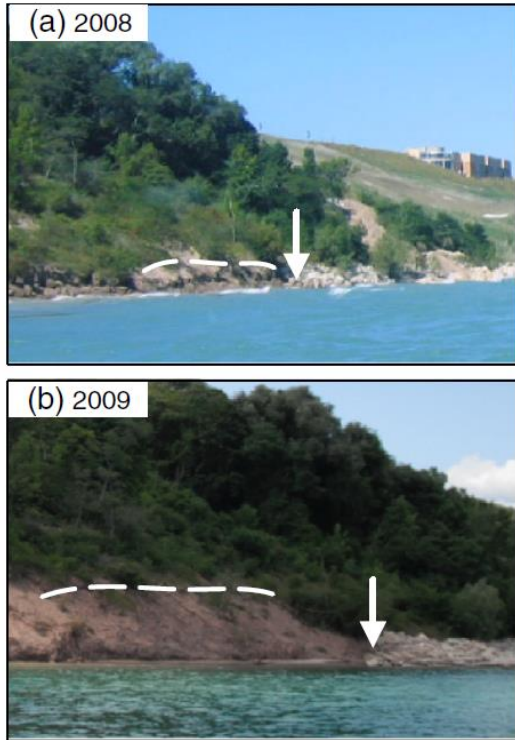
(a) 装置示意图

(b) 量测结果（上图为声波结果；下图为电磁波结果）

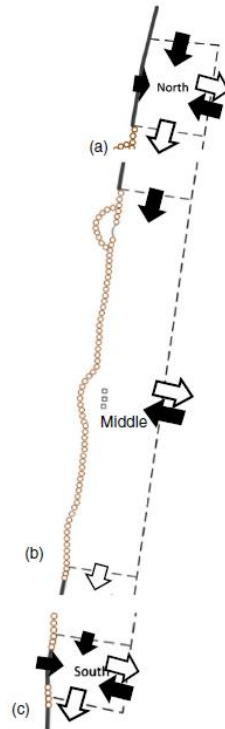
图 6 结合声波及电磁波的地球物理的量测

藉由这套系统，吴俊贤教授团队选定一位于密西根湖沿岸的地点展开为期六年的现场观测。该地点唯一高约 50 米的悬崖，上方建有一所私立大学，由于悬崖不断的退缩，危及到这所学校未来的发展，因此这所学校投入约一千万美金的经费，对悬崖进行改善，所改善的项目包括减缓悬崖坡度、改善悬崖的排水、在悬崖上种植植被、于海岸线上设置防波堤等。经过六年的观测，吴俊贤教授团队发现位于学校南侧的悬崖退缩率反而加大（见图 7），比对其他相关资料后发现，近

岸海岸线悬崖的退缩速率与近岸泥沙收支 (sediment budget) 是否平衡有一定的影响, 由于防波堤的兴建, 减少了悬崖泥沙进入湖中, 造成泥沙收支的不平衡, 反而对邻近悬崖退缩有负面的影响 (见图 7)。这部份的研究成果已发表于 SCI 期刊《Journal of Great Lakes Research》。



(a) 监测点南侧悬崖变化情形
2008-2009 (2009 年时可见裸露
土体)



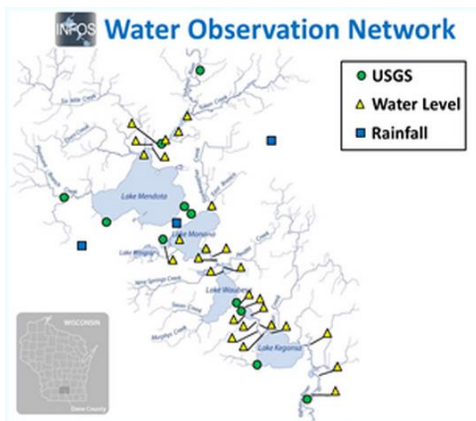
(b) 试验点泥沙收支情况 (黑
色箭头代表泥沙进入, 白色箭头
代表泥沙出去)

图 7 密西根湖监测点情形

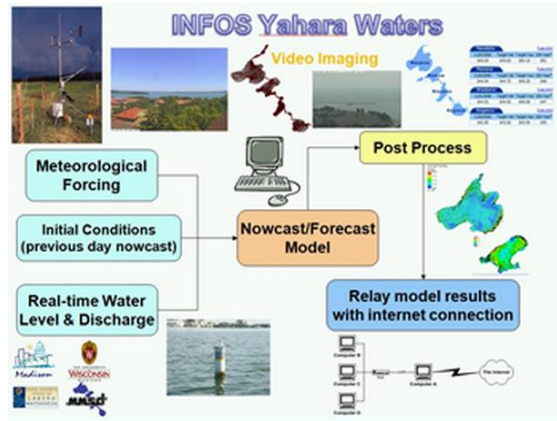
(4) 结合网路科技, 管理水资源:

吴俊贤教授除了在学术研究上有著良好的表现外, 也结合所在地

的政府密切配合，希望能利用本身具有的水利知识，帮助当地的政府妥善的分配水资源，以使有限的水资源能符合人民休闲、娱乐需求，也能同时维持生态所具有的功能。吴俊贤教授所在的美国威斯康辛州麦迪逊市有一条 Yahara River 从上游到下游连接有四个不同的湖泊，在连接每条湖泊的地方都有控制水位的堰体。若控制其中一个堰体的水位，则四个湖泊的湖位都会受到影响。时至今日，并没有一个最佳化的操作规范能使这个流域水资源的应用达到最佳化的目的，因此吴俊贤教授的团队利用网路科技，建立了 Integrated Nowcast and Forecast Operation System (INFOS) for the Yahara Lakes，提供包括水位、流量、温度及其他气象条件的资讯。此外，并利用水文及水理的数值模拟，提供当有短期暴雨或是长期气象变迁下，当地政府所应有的应急措施。



(a) 水情测站位置



(b) INFOS 架构

图 8 INFOS 网络