耶鲁大学-南京信息工程大学大气环境中心

Yale-NUIST Center on Atmospheric Environment

Spatial variations of transfer coefficients of heat, water vapor and momentum across Lake Taihu

Wei Xiao

Video conference on April 27, 2012

Outline

1. Introduction
2. Theory
3. Sites and instruments
4. Results
5. Discussion

1. Introduction

- Lake is an important land surface type for atmospheric research. The inclusion of lakes in numerical weather prediction (NWP) and climate models improves model performance. A critical issue here concerns the accuracy of the **transfer coefficients** because any bias in them will propagate directly to the flux variables.
  - ➢ To identify spatial variations of transfer coefficients of heat, water vapor and momentum across Lake Taihu;
  - ➢ To compare the transfer coefficients of Lake Taihu with physical ocean parameterization.

(Rouse et al. 2003, 2005; Long et al. 2007; Downing et al. 2006; Herderson-Sellers 1986; Bonan 1995; Betts and Ball 1997; Liu et al. 2005).

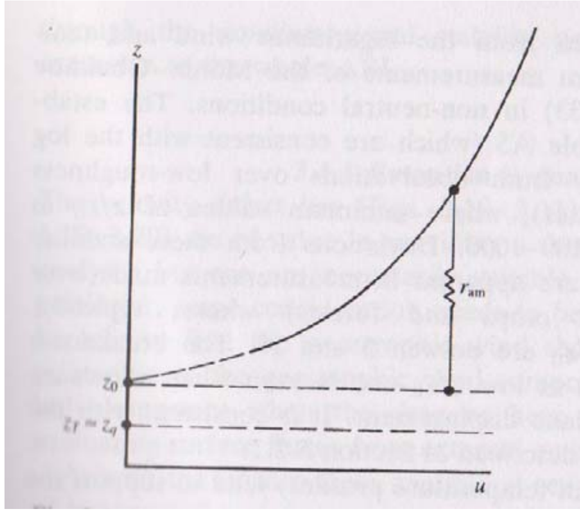
2. Theory

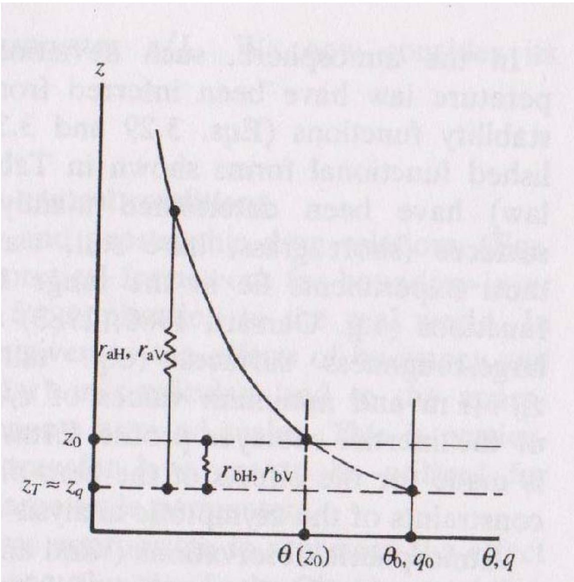
2.1 ROUGHNESS LENGTH VS TRANSFER COEFFICIENTS

Roughness length

- **Aerodynamic roughness length** (z_0) is a parameter of some vertical wind profile equations that model the horizontal mean wind speed near the ground; in the log wind profile, it is equivalent to the height at which the **wind speed** theoretically becomes **zero**.

$$ku / u_{*0} = ln(z / z_0)$$





- **Scalar roughness length:** the surface-layer temperature and humidity profiles are defined in the equations with scalar roughness lengths z_T and z_q replacing z_0 in the wind profile relation.

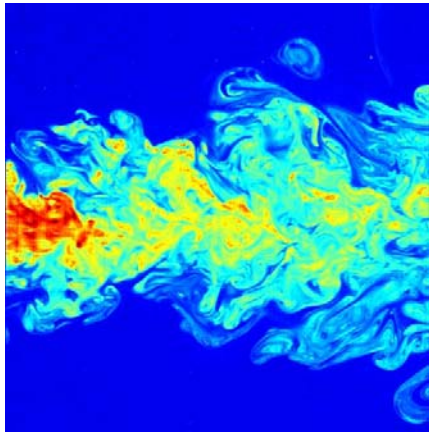
$$\mathrm{k}(q - q_0) / q_{*0} = \ln(z / z_q) - \Psi_w(\zeta)$$

$$k(\theta_v - \theta_0) / \theta_{v*0} \approx ln(z / z_T) - \Phi_H(\zeta)$$

Aerodynamic vs scalar roughness length

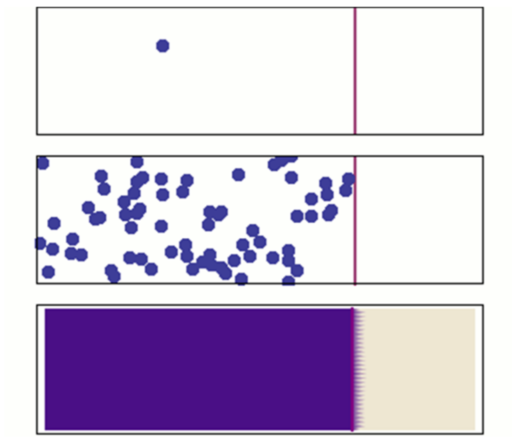
Conceptually, the distinction between z_T, z_q and z_0 is suggested by the consideration of **transport mechanisms** for heat, water vapour and momentum in the presence of aerodynamically rough flow close to the surface.

Turbulence



The transfer of **momentum** is effected by **pressure fluctuations** in the turbulent wakes behind the roughness elements.

Molecular diffusion



Heat and **water vapour** must ultimately be transferred by **molecular diffusion** across the interfacial sublayer.

Transfer coefficients - the surface roughness

$$C_{DN} = k^2/[\ln(z/z_0)]^2$$ Momentum roughness

$$C_{EN} = k^2/[\ln(z/z_0)\ln(z/z_q)]$$ Roughness length for water vapor

$$C_{HN} = k^2/[\ln(z/z_0)\ln(z/z_T)]$$ Roughness length for temperature

The neutral transfer coefficients at the height of 10 m above the water surface

$$C_{D10N} = k^2/[\ln(10/z_0)]^2$$

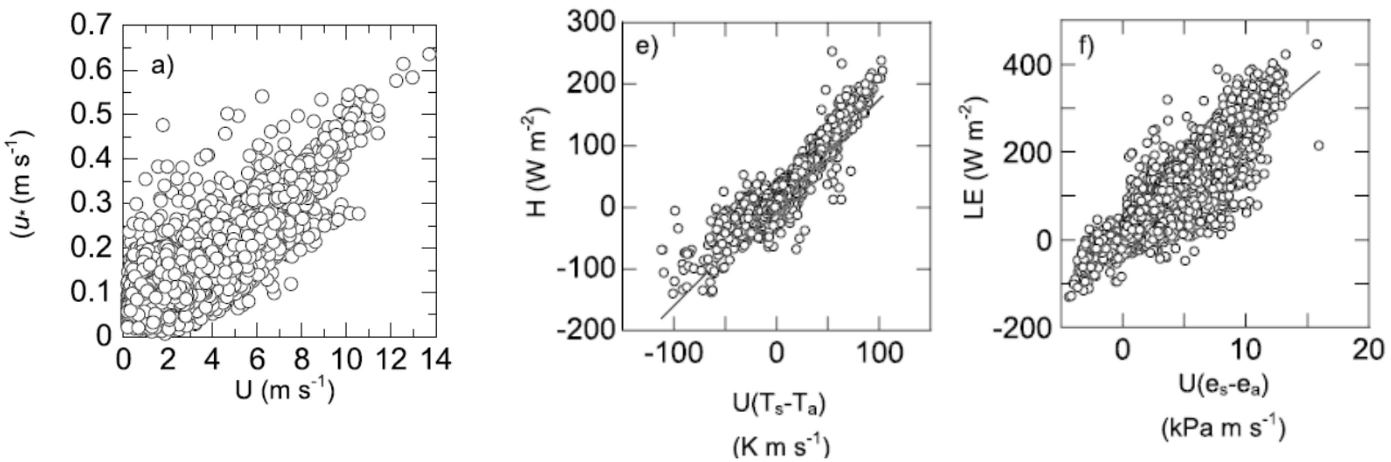
$$C_{E10N} = k^2/[\ln(10/z_0)\ln(10/z_q)]$$

$$C_{H10N} = k^2/[\ln(10/z_0)\ln(10/z_T)]$$

Mass transfer equations

Momentum flux	$\tau = \rho_a C_D u^2$	Drag coefficient
Latent heat flux	$LE = \rho_a L_v C_E u(q_s - q_a)$	Transfer coefficient for moisture
Sensible heat flux	$H = \rho_a c_p C_H u(\theta_s - \theta_a)$	Transfer coefficient for heat

The coefficients C_{DN}, C_{EN} and C_{HN} were optimized by minimizing the bias between the observation and calculation of τ, *LE* and *H.*



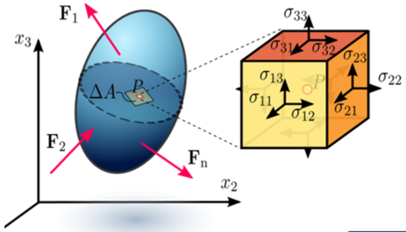
(Liu et al. 2009)

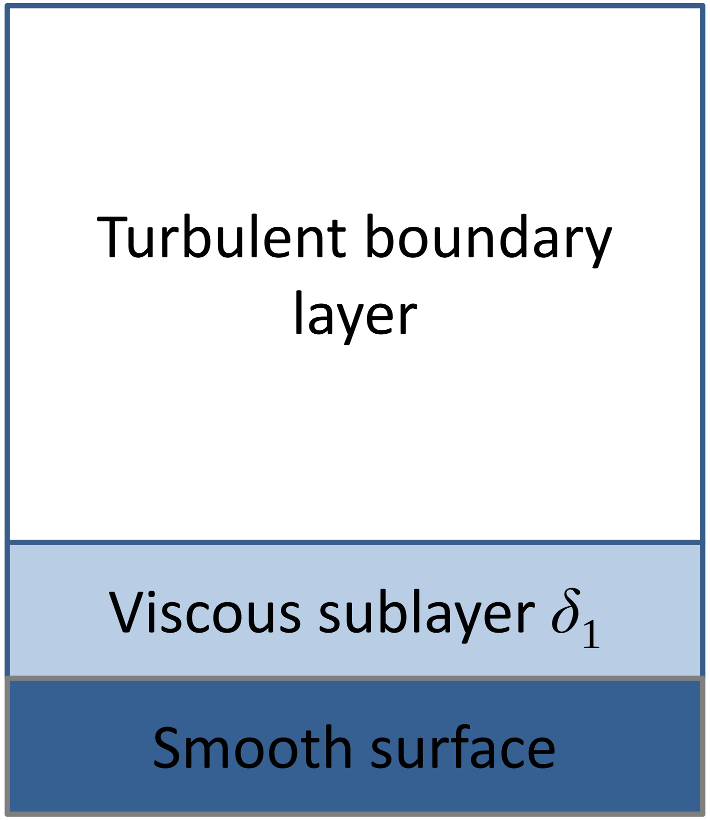
2. Theory

2.2 GARRATT/BRUTSAERT MODEL

Smooth vs Rough surface over water

Shear stress





Aerodynamically rough surface

$h_r >> \delta_1$

$u_* h_r / v > 75$

Aerodynamically smooth surface

$h_r << \delta_1$

$u_* h_r / v < 5$

h_r – the height of the roughness elements

- Aerodynamically smooth: $Re_* \approx 0.11$

- Fully rough: $Re_* > 2$

- **Wave breaking**: a transfer of energy from the already saturated wave components (ripples) to turbulence.
- $Re_* \approx 2$, $u_{*0} \approx 0.23$ m s^{-1} ($u_{10} \approx 5.5$ m s^{-1})

The aerodynamic roughness length over sea

- In very light winds --> aerodynamically smooth surface

$$z_0 \approx 0.11 \nu / u_{*0}$$

- In rough flow conditions

$$z_0 = \alpha_c {u_{*0}}^2 / g$$

$$z_0 = (\alpha_c {u_{*0}}^2 / g)(\mu_w u_{*0} / \sigma_t)^{m-2}$$

Drag coefficients over sea

Aerodynamically smooth flow

$$C_{DN} = k^2 / [ln(u_{*0} z / 0.11\nu)]^2$$

Rough flow

$$C_{DN} = k^2 / [ln(zg / \alpha_c u_{*0}^2)]^2$$

Transitional regime: $2.5 < u_{10} < 5.5$ /s

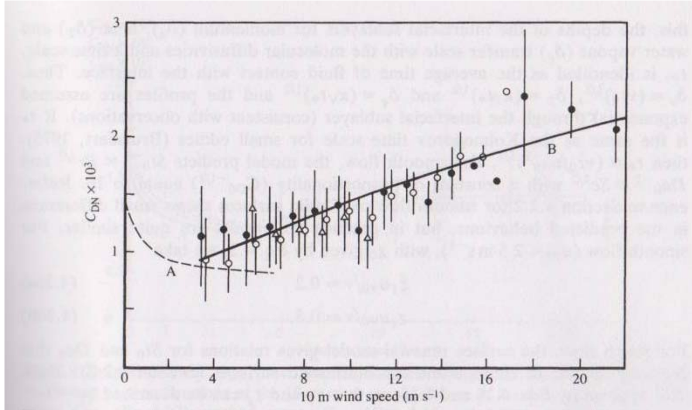


Fig. 4.8 Neutral drag coefficient over the sea as a function of the 10 m wind speed based on individual data taken from the literature. Data points represent many single runs (between 3 and 84) with the root-mean-square variation also shown. Curve A, for smooth flow, represents Eq. 4.3, and curve B, for rough flow, represents Eq. 4.5 ($\alpha_c = 0.016$). After Garratt (1977a), *Monthly Weather Review*, American Meteorological Society.

Bulk parameterization for heat transfer

$$C_{HN} = C_{DN}^{1/2} / (B_H^{-1} + C_{DN}^{-1/2})$$

$$B_H^{-1} = St_0^{-1} - C_{D0}^{-1/2} = k^{-1} ln(z_0 / z_T)$$

For smooth flow $z_T u_{*0} / \nu \approx 0.2$

For fully rough flow $ln(z_0 / z_T) = 2.48 Re_*^{1/4} - 2$

$$Re_* = u_{*0} z_0 / \nu$$

Bulk parameterization for water vapor transfer

$$C_{EN} = C_{DN}^{1/2} / (B_V^{-1} + C_{DN}^{-1/2})$$

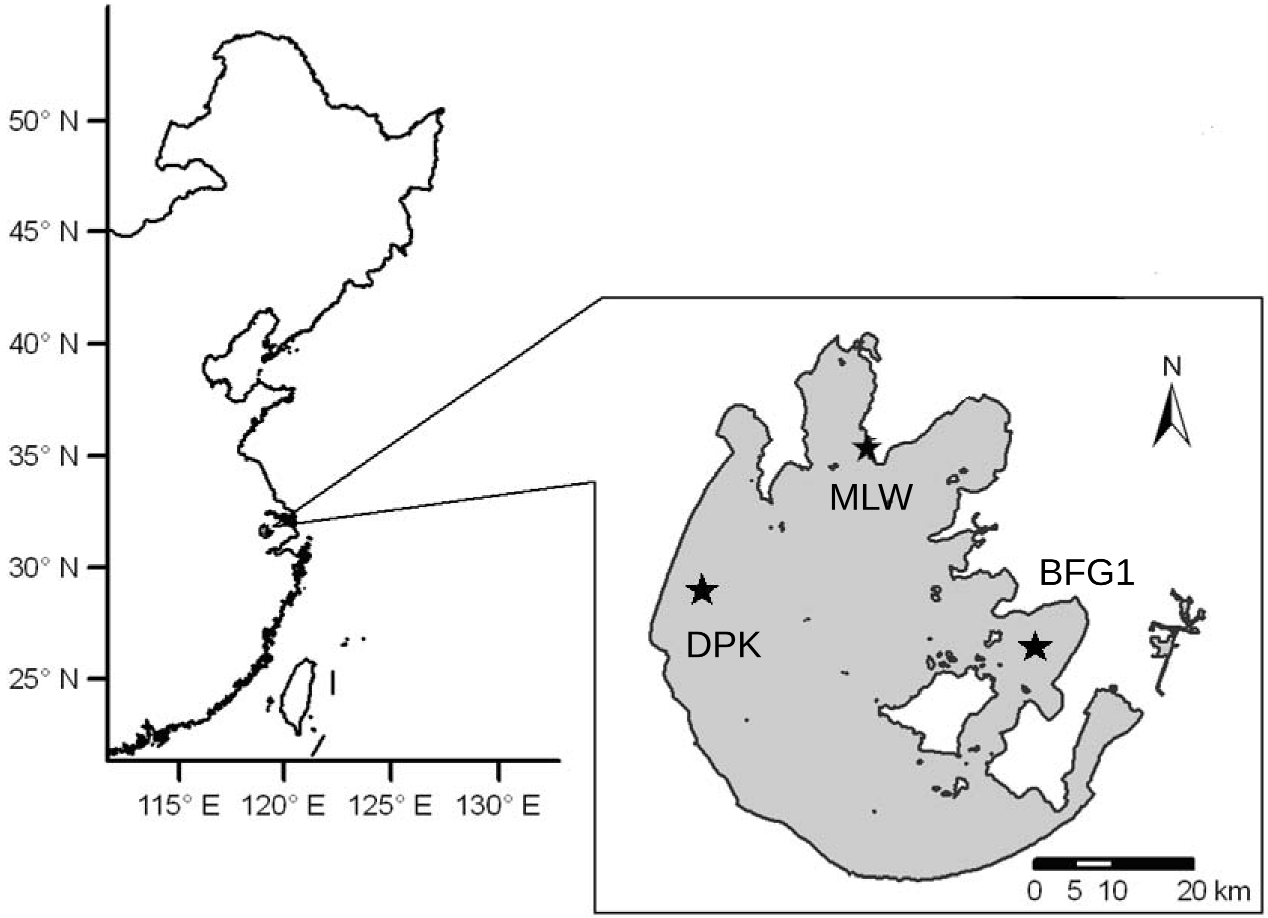
$$B_V^{-1} = Da_0^{-1} - C_{D0}^{-1/2} = k^{-1} \ln(z_0 / z_q)$$

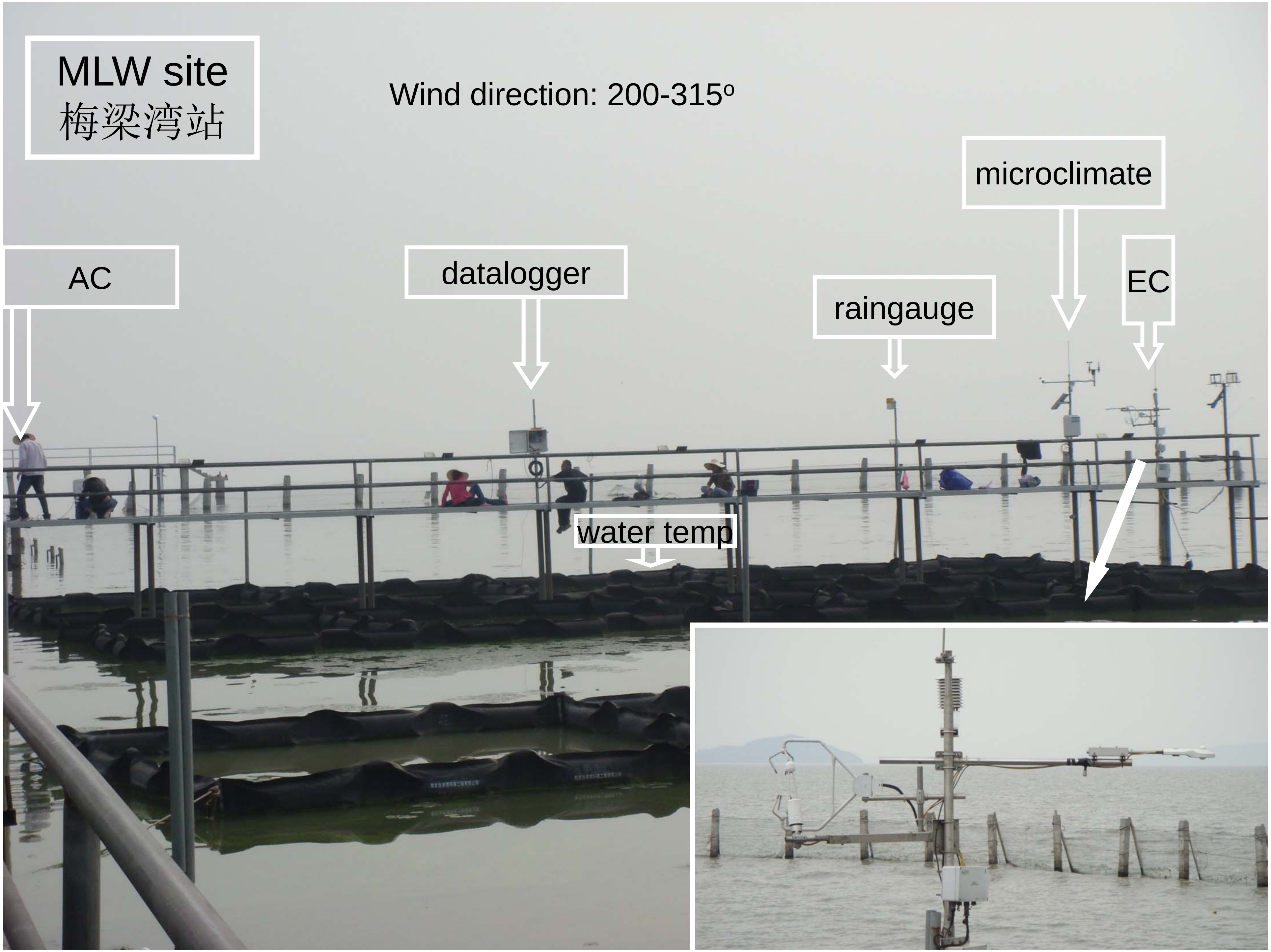
smooth flow $z_q u_{*0} / \nu \approx 0.3$

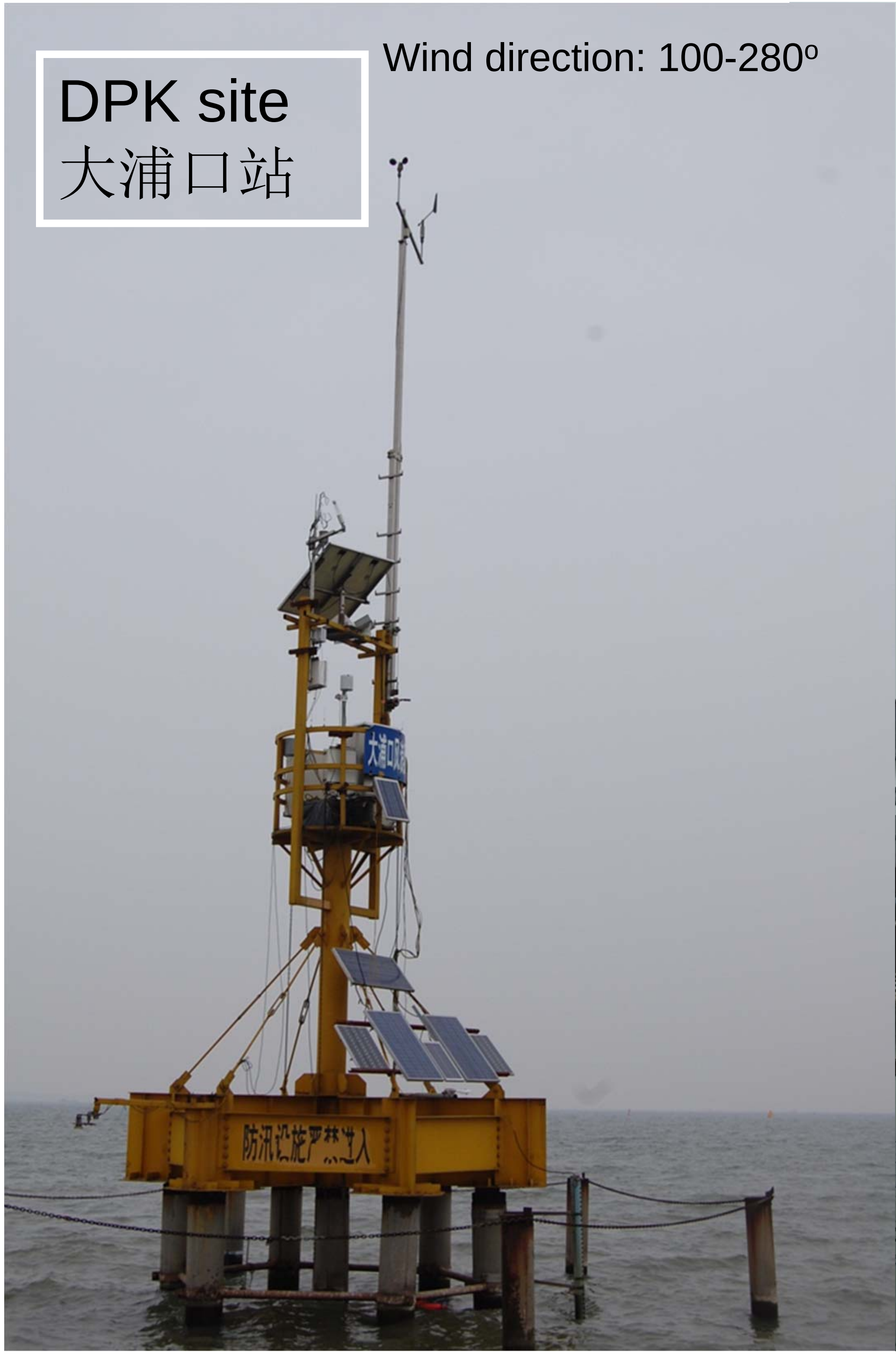
rough flow $\ln(z_0 / z_q) = 2.28 Re_*^{1/4} - 2$

$$Re_* = u_{*0} z_0 / \nu$$

3. Sites and instruments



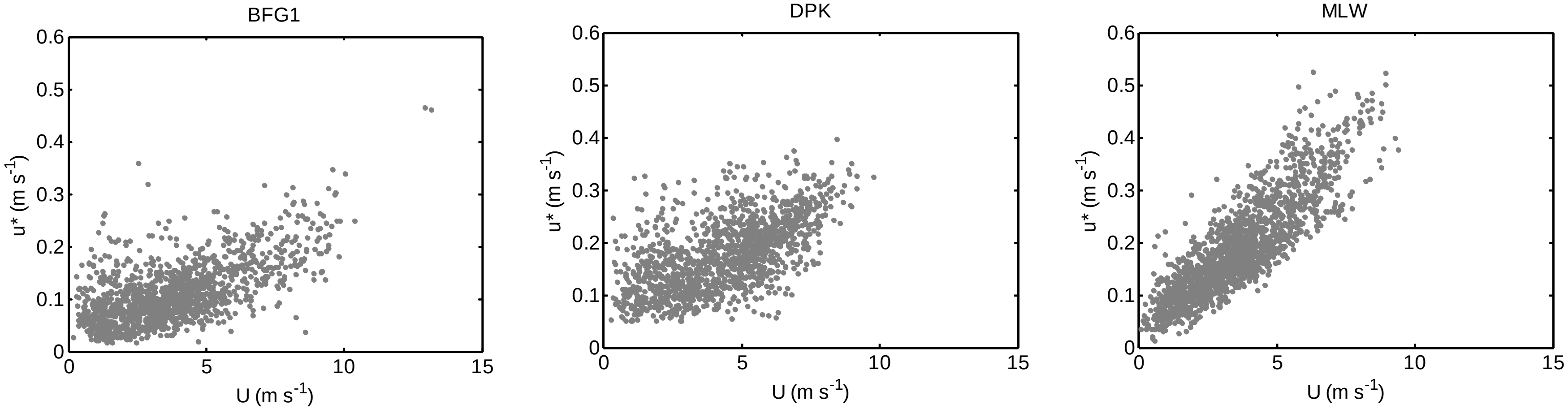

MLW site
梅梁湾站
Wind direction: 200-315°
microclimate
AC
datalogger
raingauge
EC
water temp

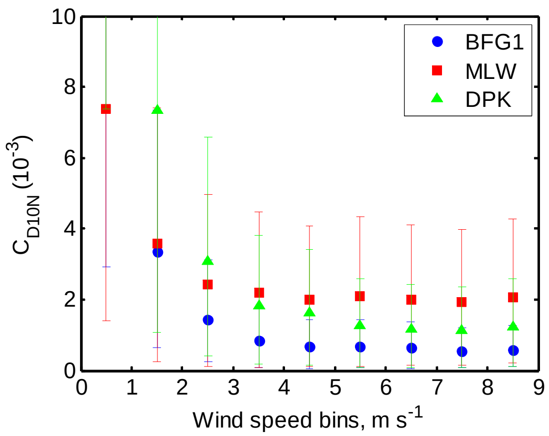

DPK site
大浦口站
Wind direction: 100-280°

Wind direction: 135-315°
BFG1 site
1号避风港

4. RESULTS

Drag coefficients

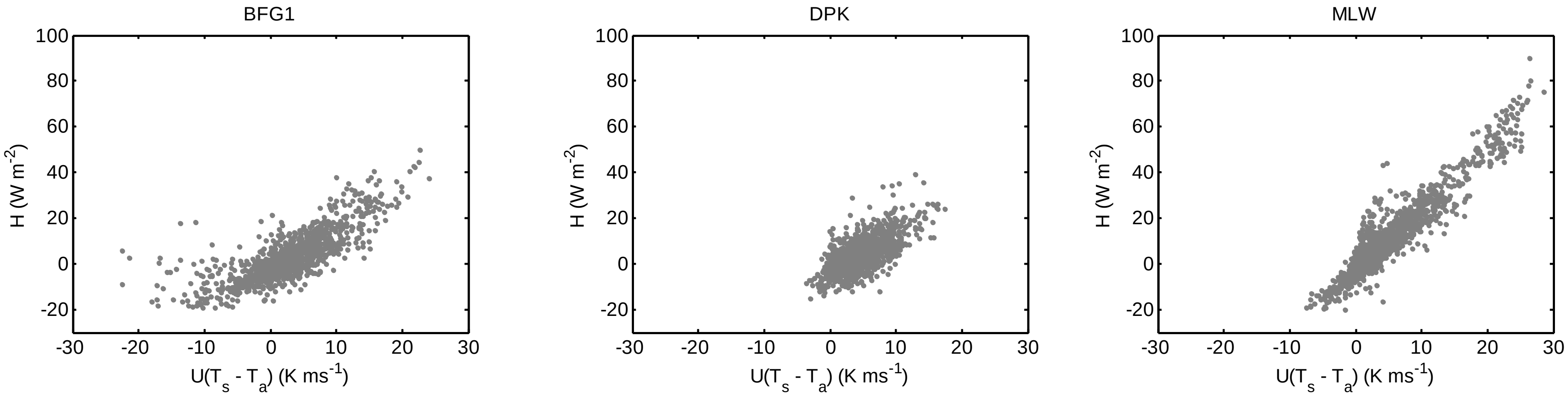


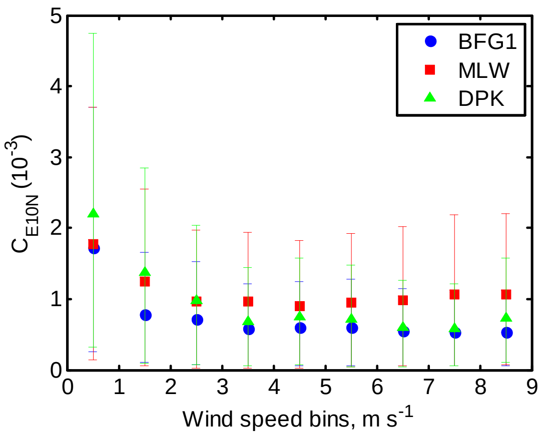


MLW > DPK > BFG1

$10^3 C_{D10N}$	BFG1	DPK	MLW
u<1	12.05	19.62	7.36
1<u<2	3.34	7.34	3.58
2<u<3	1.44	3.08	2.42
3<u<4	0.84	1.82	2.19
4<u<5	0.69	1.64	1.99
5<u<6	0.68	1.26	2.11
6<u<7	0.65	1.18	1.99
7<u<8	0.56	1.15	1.92
8<u<9	0.59	1.23	2.05

Heat transfer coefficients

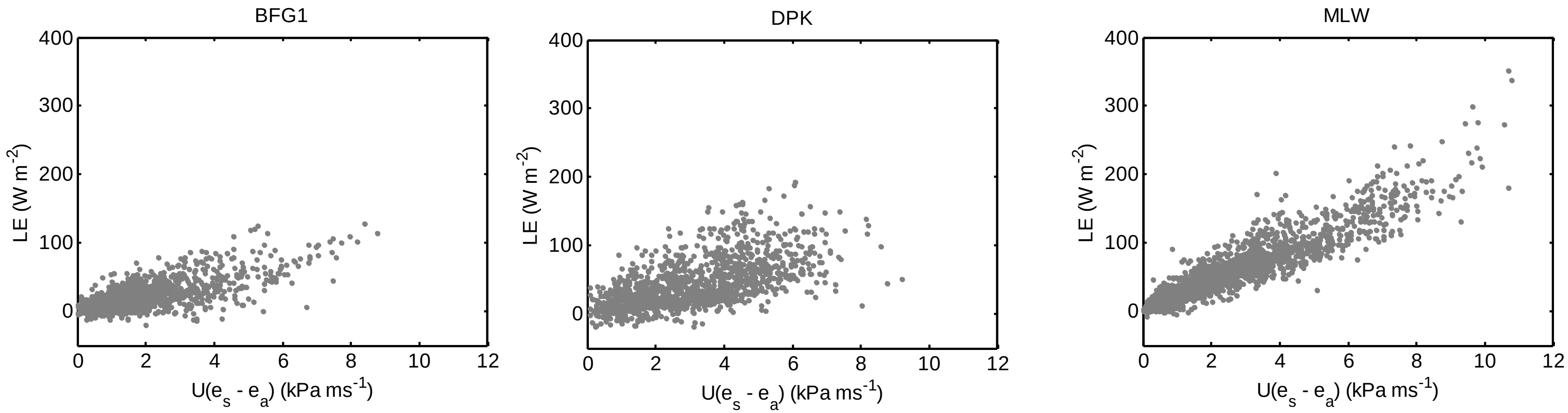


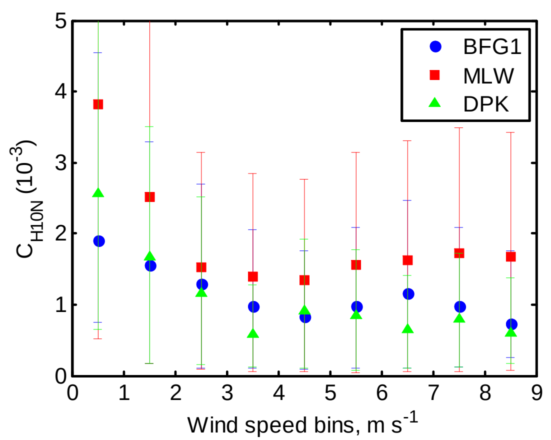


10^3C_{H10N}	BFG1	DPK	MLW
u<1	1.90	2.56	7.36
1<u<2	1.56	1.67	3.58
2<u<3	1.29	1.17	2.42
3<u<4	0.98	0.58	2.19
4<u<5	0.83	0.92	1.99
5<u<6	0.99	0.85	2.11
6<u<7	1.17	0.66	1.99
7<u<8	0.98	0.80	1.92
8<u<9	0.74	0.60	2.05

MLW > BFG1 > DPK

Water vapor transfer coefficients





MLW > BFG1 > DPK

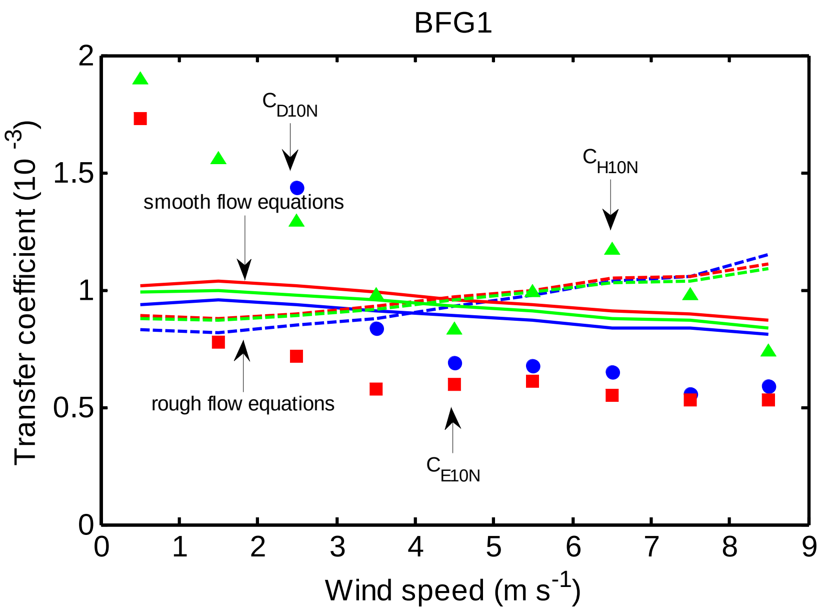
$10^3 C_{E10N}$	BFG1	DPK	MLW
u<1	1.73	2.21	1.78
1<u<2	0.78	1.38	1.25
2<u<3	0.72	0.98	0.97
3<u<4	0.58	0.69	0.96
4<u<5	0.60	0.75	0.90
5<u<6	0.61	0.71	0.95
6<u<7	0.55	0.61	0.99
7<u<8	0.53	0.58	1.06
8<u<9	0.53	0.73	1.07

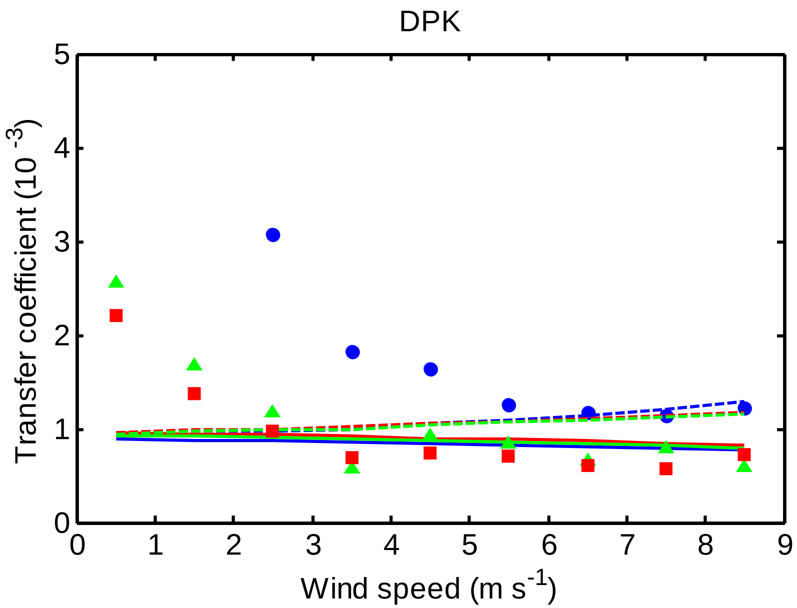
Garratt's model versus optimization results

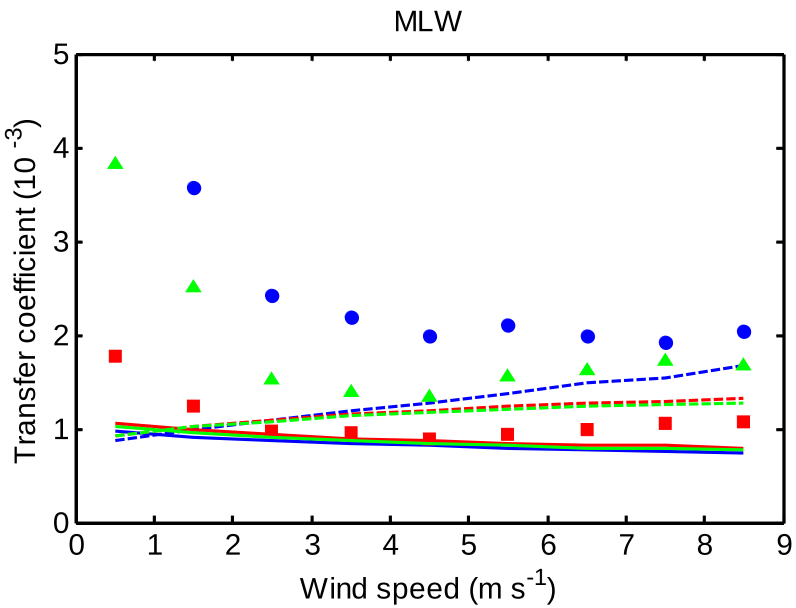
BFG1: $C_{H10N} > C_{D10N} > C_{E10N}$

DPK: $C_{D10N} > C_{H10N} \sim C_{E10N}$

MLW: $C_{D10N} > C_{H10N} > C_{E10N}$







5. Discussion

- Low wind speed: how to identify the transfer coefficients?
- What drives the spatial variation of transfer coefficient on Lake Taihu? Fetch, depth, or submerged vegetation?

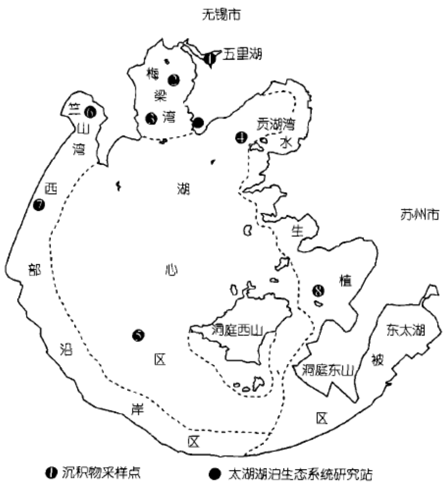
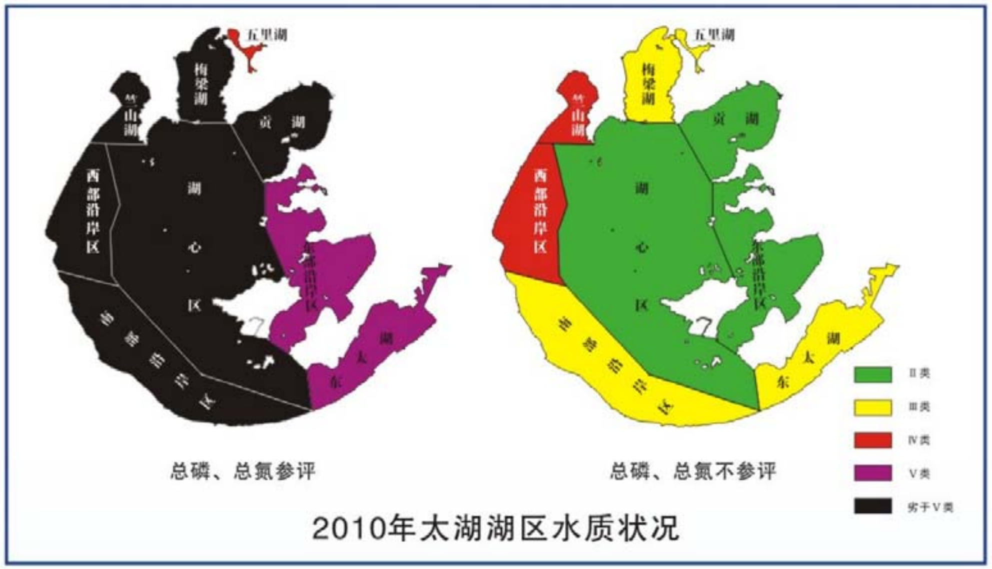


图 1　太湖湖区类型与采样点分布图



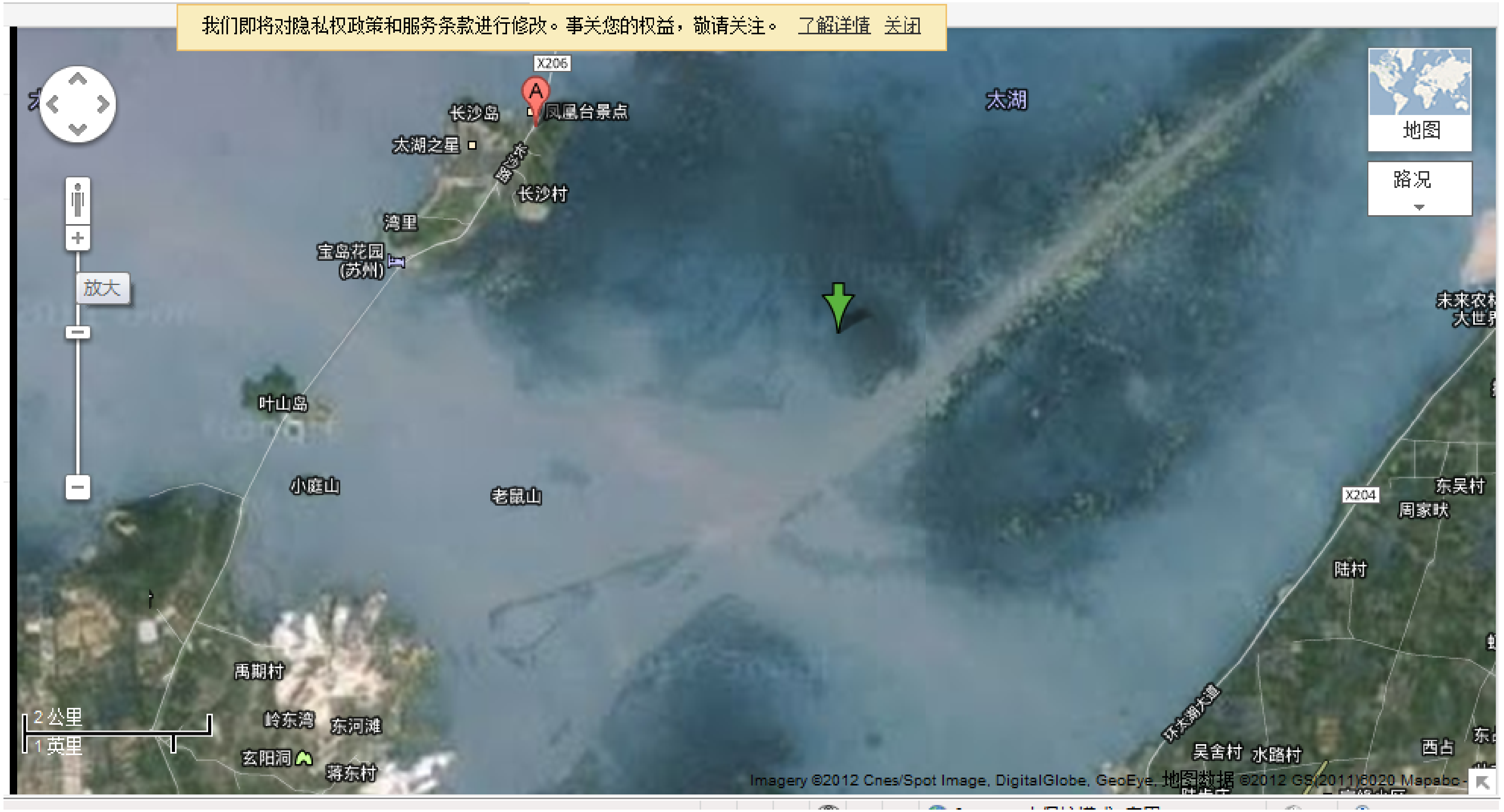
BFG1(1号避风港)通量站

Location: 120° 24’01”E, 31° 10’28”N

Started from: December 15, 2011

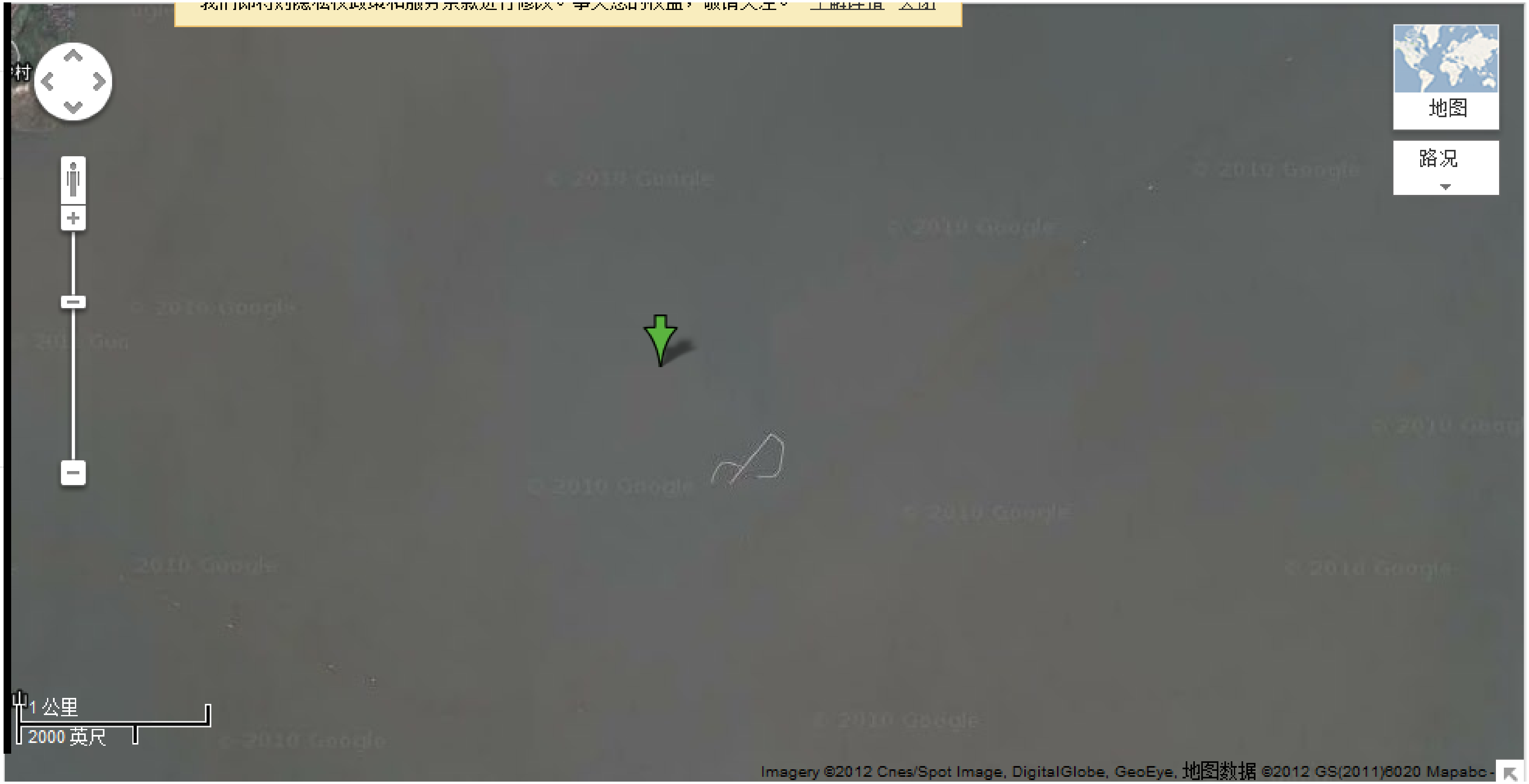
我们即将对隐私权政策和服务条款进行修改。事关您的权益，敬请关注。
了解详情
关闭
地图
路况
太湖
长沙岛
叶山岛
漫山岛
余山岛
西山镇
东山镇
光福镇
镇湖镇
胥口镇
横泾镇
浦庄镇
渡村镇
木渎镇
藏书镇
金阊区
平江区
虎丘区
沧浪区
相城区
吴中区
吴江市
同里镇
宜兴市
长兴县
大浦镇
丁蜀镇
洑东镇
夹浦镇
水口乡
小浦镇
雉城镇
洪桥镇
新塘乡
李家巷镇
七都镇
庙港镇
横扇镇
八都镇
震泽镇
平望镇
梅堰镇
黎里镇
盛泽镇
南浔镇
金家坝镇
周庄镇
锦溪镇
澄湖
白蚬江
淀山湖
阳澄西湖
阳澄湖
金鸡湖
独墅湖
G50沪渝高速
S230
S343
S224
S227
S225
G104
G318
G312
10 公里
10 英里
Imagery ©2012 TerraMetrics，地图数据 ©2012 GS(2011)6020 Mapabc

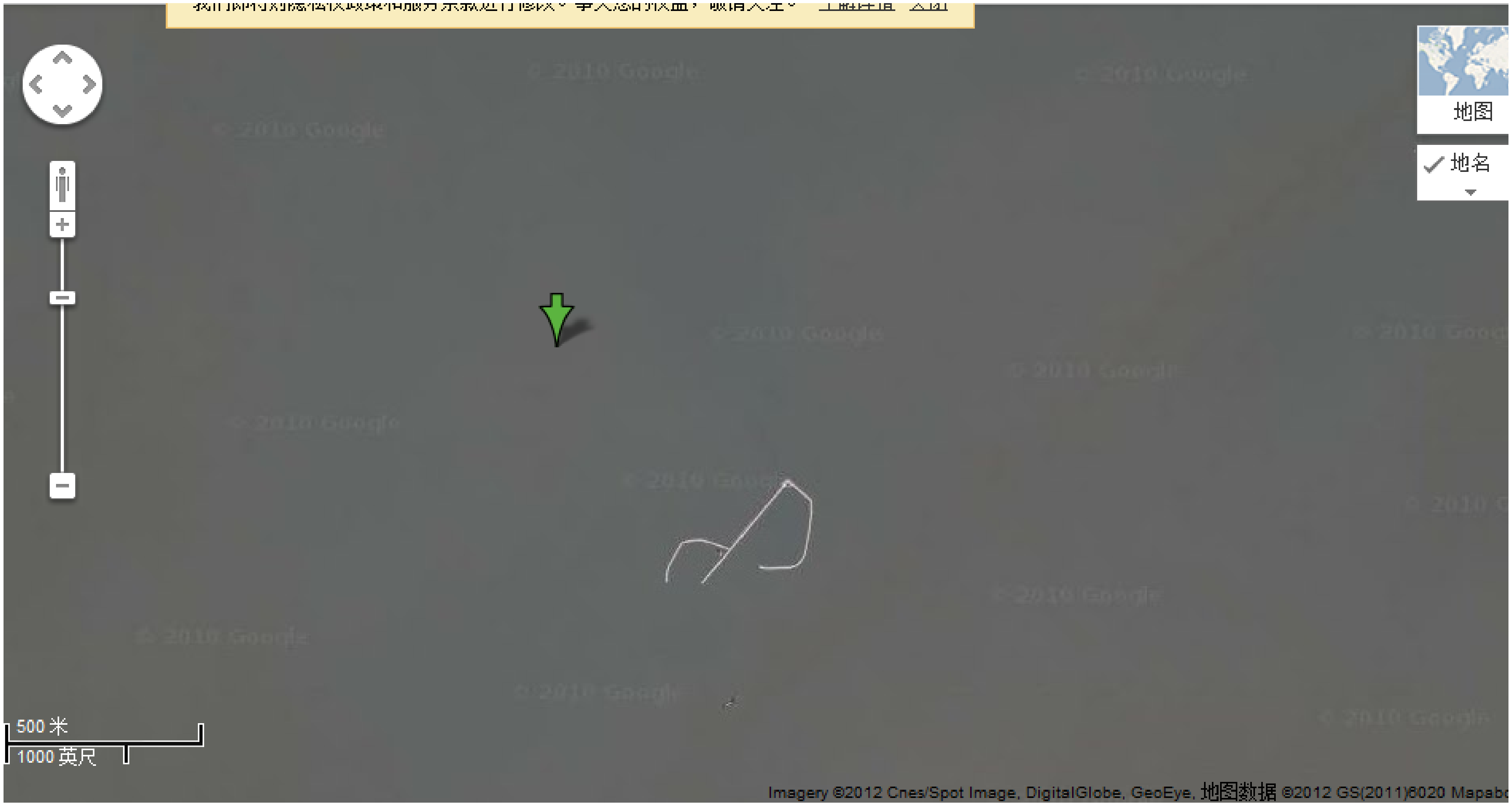
我们即将对隐私权政策和服务条款进行修改。事关您的权益，敬请关注。
了解详情
关闭
S230
光福镇
枫桥镇
金阊区
平江区
中央公园
金鸡湖
沧浪区
虎丘区
娄封镇
瑞光塔
藏书镇
南环路高架
吴中区
地图
路况
漫山岛
木渎镇
石湖
苏州太湖国家旅游度假区
胥口镇
S230
S227
苏州绕城高速
太湖
长沙岛
叶山岛
横泾镇
浦庄镇
吴江市
同里镇
西山镇
余山岛
渡村镇
东山镇
苏嘉杭高速
菀坪镇
S227
沪苏浙高速
5 公里
5 英里
Imagery ©2012 TerraMetrics, 地图数据 ©2012 GS(2011)6020 Mapabc


我们即将对隐私权政策和服务条款进行修改。事关您的权益，敬请关注。 了解详情 关闭
X206
长沙岛
凤凰台景点
太湖之星
长沙村
湾里
宝岛花园(苏州)
放大
叶山岛
小庭山
老鼠山
太湖
地图
路况
未来农林大世界
X204
东吴村
周家巷
陆村
禹期村
岭东湾
东河滩
玄阳洞
蒋东村
2 公里
1 英里
吴舍村
水路村
西占
Imagery ©2012 Cnes/Spot Image, DigitalGlobe, GeoEye, 地图数据 ©2012 GS(2011)6020 Mapabc

3km

我们即将对隐私权政策和服务条款进行修改。事关您的权益，敬请关注。 了解详情 关闭
太湖大桥
X206
长沙岛
凤凰台景点
太湖之星
长沙路
长沙村
湾里
宝岛花园
(苏州)
太湖
地图
路况
吴中大道
未来农林
大世界
张巷头
排家泾
叶山岛
小庭山
老鼠山
X204
东吴村
周家吠
陆村
北安
虹石桥
2公里
1英里
岭东湾
Imagery ©2012 Cnes/Spot Image, DigitalGlobe, GeoEye, 地图数据 ©2012 GS(2011)6020

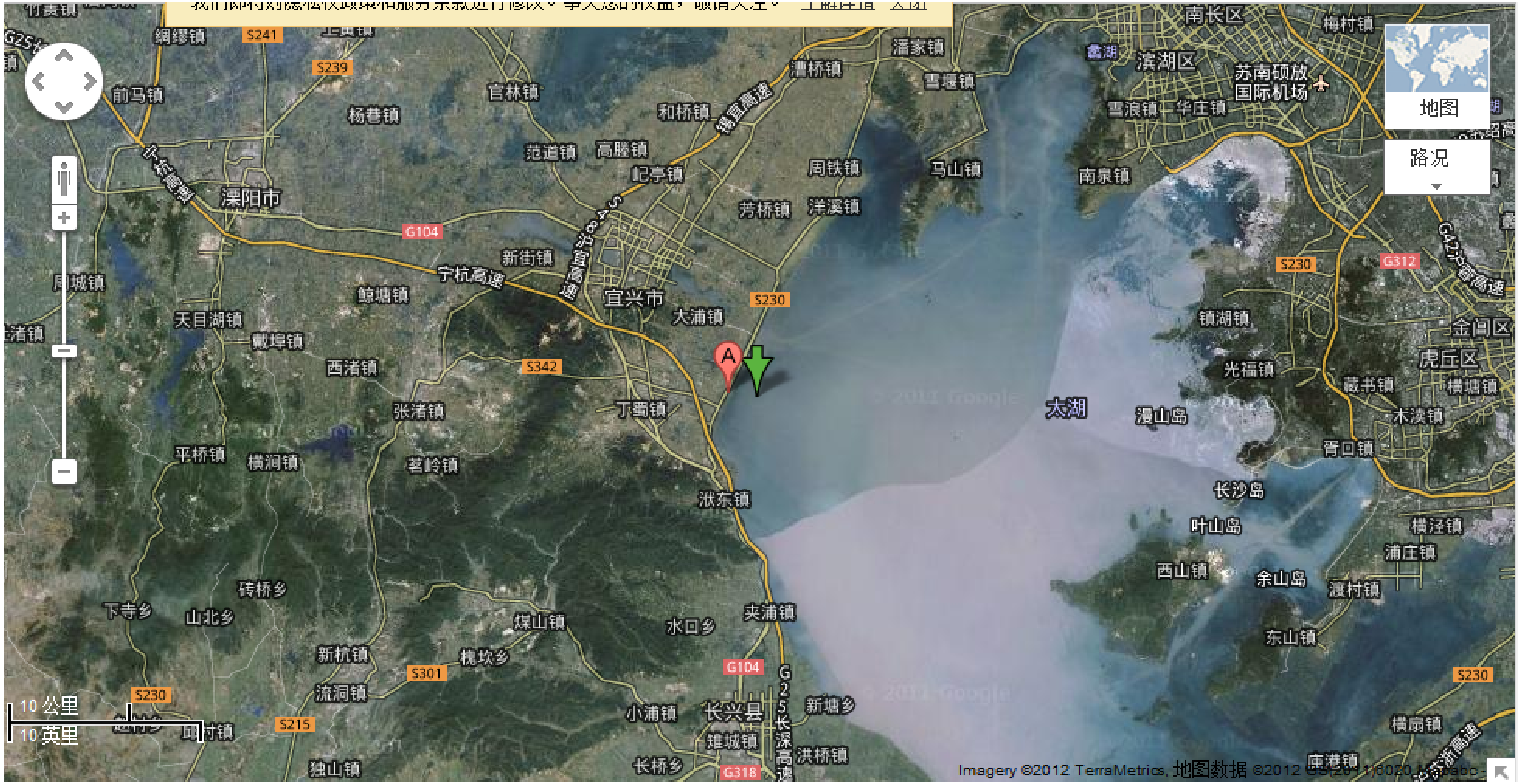

地图
路况
1 公里
2000 英尺
Imagery ©2012 Cnes/Spot Image, DigitalGlobe, GeoEye, 地图数据 ©2012 GS(2011)6020 Mapabc -


地图
地名
500 米
1000 英尺
Imagery ©2012 Cnes/Spot Image, DigitalGlobe, GeoEye, 地图数据 ©2012 GS(2011)6020 Mapabc

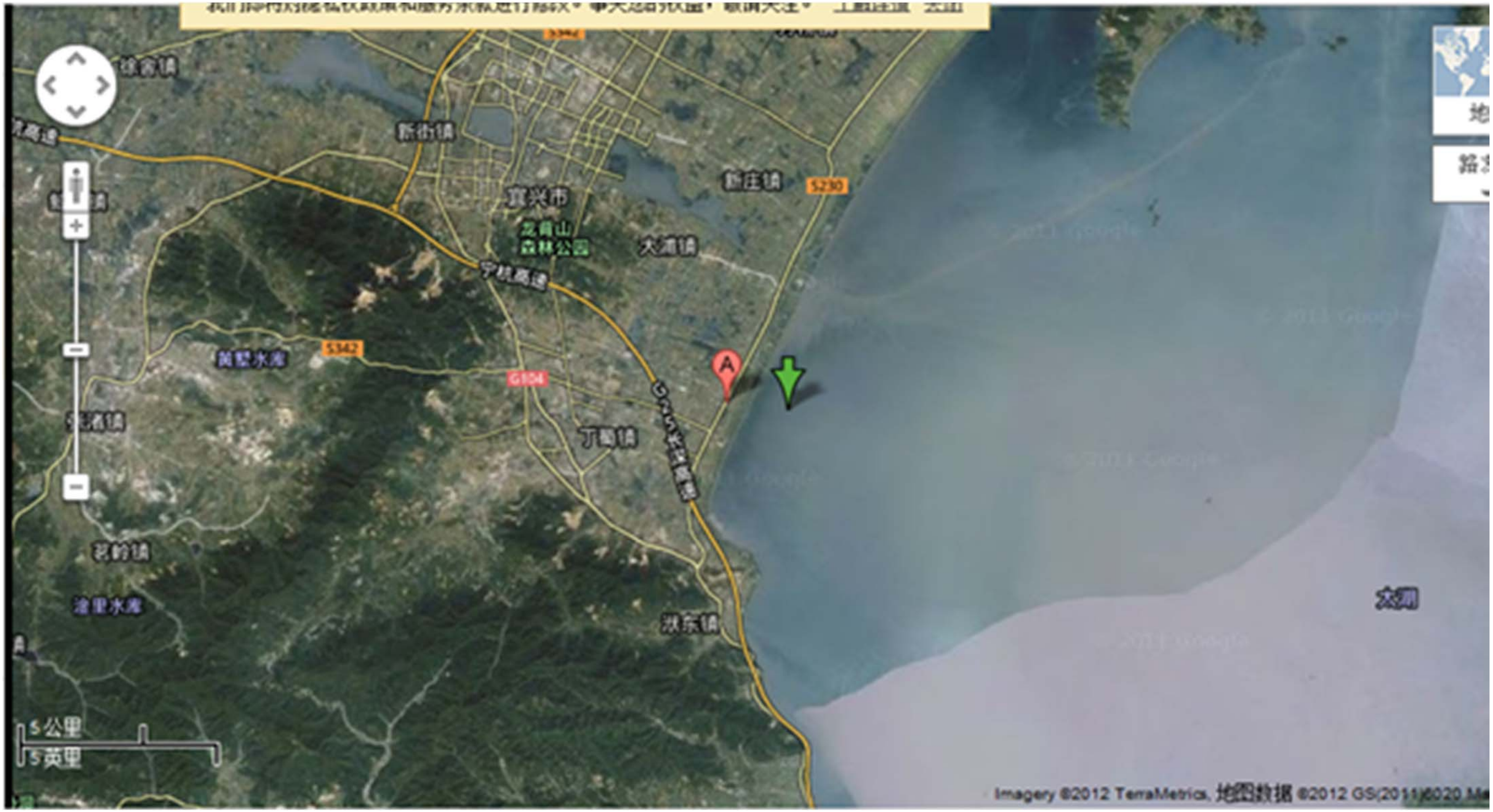
600m

Description of Dapukou(DPK, 大浦口) flux site

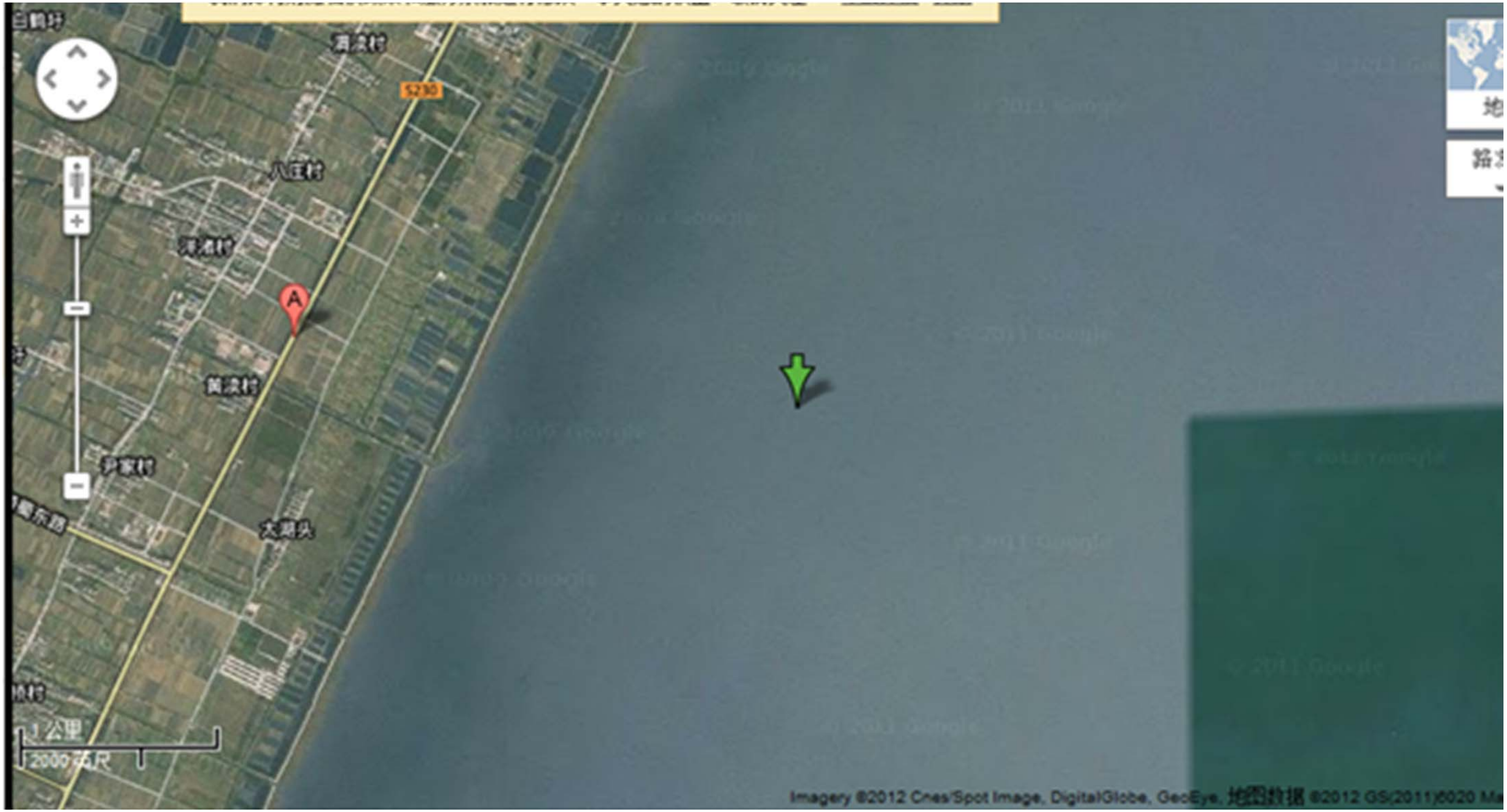
- Radiation measurement was started on December 3, 2010
- Eddy covariance, meteorology & water temperature was started from August 17, 2011
- Location: 119° 55’52.3”E,31° 15’57.8”N



南长区
梅村镇
滨湖区
苏南硕放国际机场
雪浪镇
华庄镇
南泉镇
潘家镇
漕桥镇
雪堰镇
和桥镇
周铁镇
马山镇
芳桥镇
洋溪镇
地图
路况
S241
S239
绸缪镇
前马镇
官林镇
杨巷镇
范道镇
高塍镇
屺亭镇
溧阳市
G104
新街镇
宁杭高速
鲸塘镇
周城镇
天目湖镇
戴埠镇
宜兴市
大浦镇
S230
西渚镇
S342
张渚镇
丁蜀镇
太湖
漫山岛
镇湖镇
光福镇
S230
G312
金阊区
虎丘区
藏书镇
横塘镇
木渎镇
胥口镇
长沙岛
叶山岛
平桥镇
横涧镇
茗岭镇
洑东镇
西山镇
余山岛
渡村镇
横泾镇
浦庄镇
东山镇
砖桥乡
下寺乡
山北乡
煤山镇
水口乡
夹浦镇
新杭镇
槐坎乡
G104
S301
流洞镇
小浦镇
长兴县
新塘乡
雉城镇
洪桥镇
长桥乡
G318
独山镇
S215
S230
横扇镇
庙港镇
10 公里
10 英里
Imagery ©2012 TerraMetrics, 地图数据 ©2012



徐舍镇
新街镇
宜兴市
龙背山
森林公园
新庄镇
S230
大浦镇
宁杭高速
S342
G104
丁蜀镇
太湖
5 公里
5 英里
Imagery ©2012 TerraMetrics, 地图数据 ©2012 GS(2011)6020



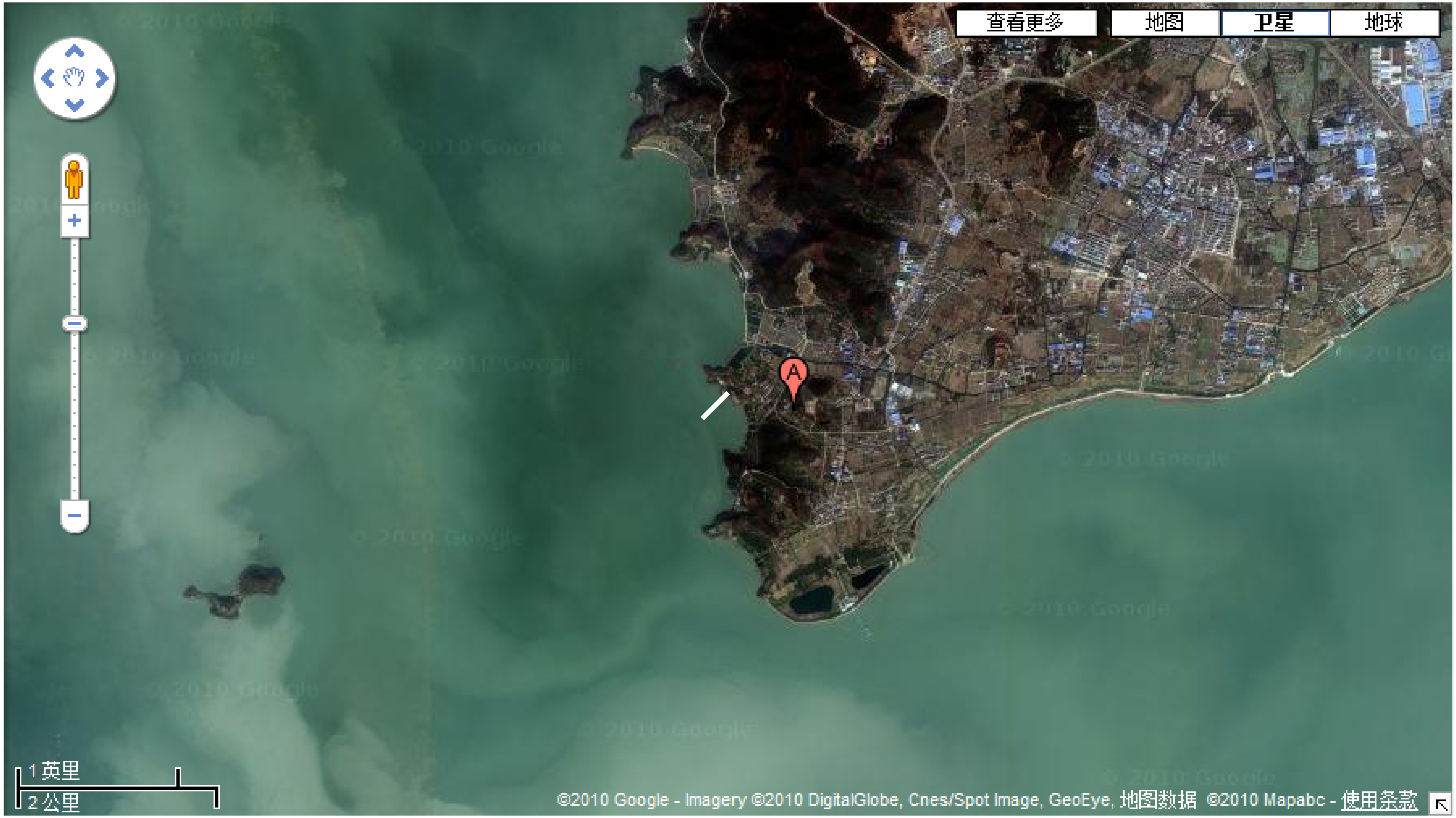
S230
八庄村
尹家村
大湖头
1 公里
Imagery ©2012 Cnes/Spot Image, DigitalGlobe, GeoEye, 地图数据 ©2012 GS(2011)6020

1.5km


MLW (梅梁湾) site description
Location: 31° 24’N, 120° 13’E


新建镇
锡宜高速
潘家镇
南长区
梅村镇
甘露镇
辛庄镇
滨湖区
漕桥镇
S232
S342
S230
大浮镇
苏南硕放
国际机场
北桥镇
官林镇
和桥镇
雪浪镇
华庄镇
苏州绕城高速
S48沪宜高速
S9苏绍高速
渭塘镇
范道镇
高塍镇
A
周铁镇
马山镇
东桥镇
黄埭镇
S205
太平镇
杞亭镇
S83
S9
徐舍镇
芳桥镇
蠡口镇
S48
G42
新街镇
黄桥镇
相城区
宜兴市
新庄镇
G312
G25
G42沪蓉高速
G2
东渚镇
大浦镇
镇湖镇
金阊区
平江区
G25长深高速
光福镇
虎丘区
沧浪区
藏书镇
吴中区
太湖
丁蜀镇
漫山岛
苏州太湖国家
旅游度假区
木渎镇
吴县经济
开发区
郭巷镇
G104
胥口镇
茗岭镇
长沙岛
洑东镇
叶山岛
横泾镇
S227
吴江市
西山镇
余山岛
渡村镇
白岘乡
夹浦镇
G318
水口乡
东山镇
槐坎乡
10 公里
10 英里
S10
长兴县
新塘乡
横扇镇
G50沪渝高速
S301
雉城镇
庙港镇
长桥乡
Imagery ©2012 TerraMetrics

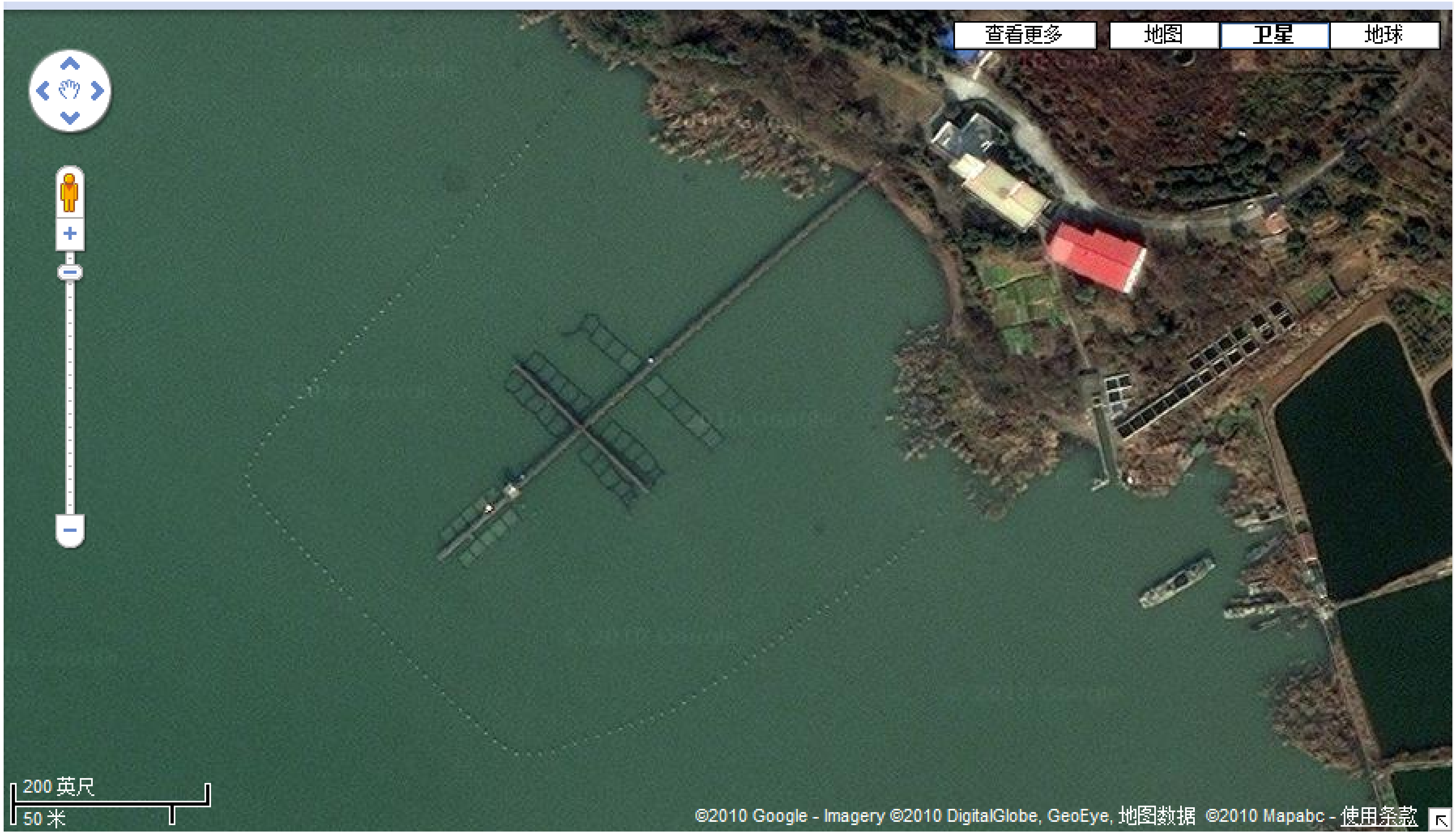
Our Experimental Site

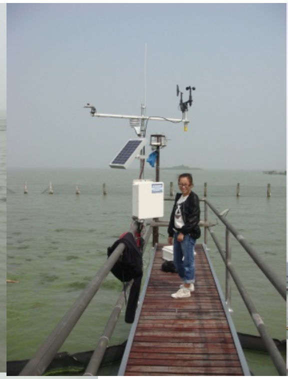


Good fetch: 180~315º south and west wind

Our Experimental Site

Our Experimental Site






Thank you!